



**XXI 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
XXI Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием

г. Киров, 15 ноября 2023 г.

Киров 2023

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

Б632 Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. (г. Киров, 15 ноября 2023 г.). – Киров : Вятский государственный университет, 2023. – 463 с.

ISBN 978-5-98228-275-0

В книгу вошли материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем». Опубликованные работы посвящены изучению экологического состояния природных сред и объектов. Рассмотрены особенности химии и экологии почв. Представлены материалы по экологии микроорганизмов, животных и растений и методам экологического мониторинга. 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 978-5-98228-275-0

© Вятский государственный университет
(ВятГУ), 2023

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бухарина И. Л., Ковальчук А. Г., Ведерников К. Е., Рябов Д. С. Опыт реализации проекта «Зеленый код Ижевска»	11
Загирова С. В. Реализация важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» в Республике Коми	14
Дворников М. Г. Научные основы организации системы регионального экологического мониторинга окружающей среды и использования его результатов	17
Антал Т. К. Современные методы биодиагностики в оценке состояния природных и природно-техногенных систем	21
Труханов А. В., Чернышков А. И., Сабитов И. С. К вопросу мониторинга экологической обстановки методом фрактального анализа изображений	23
Перцева В. А. Биосенсор для определения поверхностно-активных веществ на основе бактерий <i>Parasoccus yeei</i> ВКМ В-3302 и кремнийорганической матрицы	29
Пыстин В. Н., Волкова А. Д., Панфилова И. В., Шушанян Г. А., Тупицына О. В. Мониторинг природно-техногенных систем, загрязненных нефтепродуктами	33
Гермонова Е. А., Сафонов А. И. ГИС-фитоиндикация при анализе факторов войны: полевостресс в Донбассе	36
Кузнецова А. В., Зиганшин И. И. Оценка антропогенного преобразования территории Волго-Мешинского междуречья на основе ретроспективного картографического анализа	41
Габов Д. Н., Василевич М. И., Яковлева Е. В., Василевич Р. С. Пространственное распределение полициклических ароматических углеводородов в снежном покрове урбанизированных территорий Заполярья	45
Никитин О. В., Кузьмин Р. С., Вазиев И. И., Насырова Э. И., Латыпова В. З. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха города Казани диоксидом азота по данным спутниковой съемки Sentinel-5P	50
Ланько А. В. Влияние рельефа на изменение показателей снежного покрова	55
Рутман В. В., Хето М. Х. Мониторинг атмосферного воздуха городской среды	59

Кубрина Л. В. К вопросу биодиагностики в оценке качества поверхностных вод	64
Аристархова Е. В., Дронова А. А., Петренко Д. Б., Горбунов А. В., Ермолаев Б. В., Грановская Г. А. Распределение ртути в воде, донных отложениях и гидробионтах в нижнем течении р. Волги	67
Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Хасанов Р. Р. Оценка качества донных отложений малого водоема урбанизированной территории	72
Дрозденко Т. В. Фитопланктон в экологическом мониторинге дельты реки Великой	76
Сысолятина М. А., Кутявина Т. И. Биотестирование природных вод во время массового развития фитопланктона с использованием инфузорий	78
Морозова М. А., Седова Д. А. Условно-патогенные бактерии в сточных водах очистных сооружений канализации ряда городов Ростовской области	82
Коротаева А. Э., Пашкевич М. А. Изучение совместного использования видов водной растительности для очистки сточных вод	87
Харькова А. С., Лаврова Т. В. Иммунизация тирозиназы в композитный материал для экспресс-мониторинга содержания фенола в сточных водах	90
Сафонов А. И. Макромаркеры антогенеза в диагностике природных сред Донбасса	93
Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф. Динамика луговых ассоциаций поймы р. Беседь Ветковского района в зависимости от гидрологического режима	96
Бускунова Г. Г., Киреева О. В., Шарабасова С. А. Содержание тяжелых металлов в листьях <i>Salix alba</i> L. в условиях г. Сибай Республики Башкортостан	101
Бускунова Г. Г., Аминова Р. Р., Нарынбаева Г. А. Оценка экологической чистоты растений <i>Nonea pulla</i> L. в условиях городской среды	104
Калинина А. В. Особенности видового состава травянистого покрова придорожной территории г. Макеевки	108
Ашихмина Т. Я., Сырчина Н. В., Широких И. Г., Домрачева Л. И., Кондакова Л. В., Товстик Е. В., Адамович Т. А., Кантор Г. Я., Рутман В. В. Методы борьбы с инвазивным сорным растением – борщевиком Сосновского (краткий обзор)	111
Насырова Э. И., Никитин О. В., Латыпова В. З. Оценка острой токсичности микрочастиц полистирола и диоксида титана по выживаемости <i>Daphnia magna</i>	117
Сизова Е. Н., Шмакова Л. Н. Новые источники микропластика как загрязнителя (краткий обзор)	121

Степанова Н. Ю., Шевчук К. А., Вьюшкова У. А.	
Характеристика микропластика в мышцах леща Мёшинского залива (Республика Татарстан).....	124
Харыбина А. С., Воротынцев К. Д. Контроль опасных геологических процессов вдоль транссахаалинской трубопроводной системы (на примере Макаровского района)	127
Плотникова К. А. Зеленые насаждения как компоненты урбоэкосистемы: их функции и оценка состояния (на примере г. Воронежа).....	131
Кантор Г. Я. Чем опасен метан?.....	134

СЕКЦИЯ 2 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

Лантева Е. М. Почвы Республики Коми: разнообразие, проблемы диагностики и классификации	138
Холопов Ю. В., Шахтарова О. В., Рудь А. А., Денева С. В., Доронин Е. А., Шалагина Н. В., Лантева Е. М. К вопросу о разнообразии почв национального парка «Койгородский»	144
Скребенков Е. А., Денева С. В., Холопов Ю. В., Лиханова И. А., Лантева Е. М. Специфика почв и почвенного покрова заказника «Ляльский»	148
Дабах Е. В. О выборе фоновых почв при организации мониторинга экологически опасных объектов	150
Астанин С. С., Стекольников К. Е., Свистова И. Д. Показатели для индикации почв разных категорий рекреационных зон на примере города Воронежа.....	153
Смотрина Ю. А., Скребенков Е. А., Захожий И. Г., Далькэ И. В., Лантева Е. М. Динамика свойств почв в постагрогенных экосистемах с <i>Heracleum sosnowskyi</i>	157
Титова А. С. Определение окислительно-восстановительной емкости гуминовых кислот.....	159
Сырчина Н. В., Кутявина Т. И. Влияние серосодержащих отходов на подвижность фосфора в засоленных почвах	164
Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М. Оценка связи загрязнения почвенного покрова с состоянием наземных экосистем в зоне влияния объекта по уничтожению химического оружия	167
Подлевских М. М., Евдокимова С. Л., Бабина А. А. Оценка влияния несанкционированной свалки на почвенный покров.....	172
Сердюк В. В. Влияние терриконов Тульской области на состав лабильного органического вещества почв сельскохозяйственного назначения	176
Лопатина Д. Н. Токсичные свойства городских почв Иркутска и Ангарска.....	179

Герцен М. М., Каледин Ю. В., Переломов Л. В. Биологическая очистка нефтезагрязненной почвы биопрепаратом на основе гуминовых кислот.....	181
Сырчина Н. В., Кутявина Т. И., Комоско Г. В., Комоско В. Г., Скуднова Т. А., Леушина М. А. Перспективы использования фосфатмобилизующих бактерий на щелочных засоленных почвах.....	186
Стахурлова Л. Д. Ферментативная активность черноземных почв заказника «Каменная степь» как индикатор на длительную агрогенную нагрузку	190
Семина О. Ю. Изменение ферментативной активности почв криолитозоны при загрязнении дизельным топливом (в условиях модельного эксперимента).....	194
Шабалина М. П., Юдина Д. Р., Сакаева Э. Х. Изменение активности дыхания почв при попадании нефтяных углеводородов.....	198
Кузнецов М. А., Осипов А. Ф. Выделение диоксида углерода с поверхности почв хвойных экосистем средней тайги Республики Коми.....	202
Фролова А. В., Тоцкая А. Ю., Маршева А. В., Радугина О. Г., Петренко Д. Б. Разработка приборно-методического обеспечения на базе Arduino для определения азота, фосфора и калия в почвах и почвогрунтах	204

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

Домрачева Л. И., Скугорева С. Г., Фокина А. И., Кондакова Л. В., Коротких А. И., Ашихмина Т. Я. Биопленки на каменистом субстрате.....	208
Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Влияние удобрения на основе фосфоритов Верхнекамских бедных на почвенную альгоцианофлору	212
Кондакова Л. В., Дабах Е. В., Кантор Г. Я. Сравнительный анализ альгофлоры пойменных озер на техногенной территории	215
Широких И. Г., Майсак Г. П., Боков Н. А., Морозков Н. А., Старцева А. В. Таксономический профиль прокариотных сообществ дерново-подзолистой почвы при длительном возделывании левзеи сафлоровидной и эспарцета песчаного	218
Широких И. Г., Назарова Я. И., Абубакирова Р. И. Результаты скрининга биотехнологически ценных штаммов среди стрептомицетов из серой лесной почвы	222
Мокрушина С. Э., Широких И. Г. Кинетические свойства стрептомицетов из ризосферы лекарственных растений	226
Боков Н. А., Широких И. Г. Комплексная оценка биологического потенциала щелелистника обыкновенного	229

Никифоров Н. А., Широких А. А. Находки миксомицетов в Архангельской области	234
Стариков П. А., Домрачева Л. И., Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М. Новые изоляты рода <i>Trichoderma</i> как перспективные агенты биоконтроля.....	237
Коротких А. И., Трухина Е. Л., Домрачева Л. И. Рострегулирующая активность бактерии <i>Bacillus mycooides</i> , сохранившейся на корнях гербарного образца птицемлечника.....	242
Ковалева В. А., Виноградова Ю. А., Пристова Т. А., Федорков А. Л. Численность, биомасса и таксономическая структура сообщества микромицетов в подстилке экспериментальных культур сосны скрученной (<i>Pinus contorta</i> Dougl.)	246
Кувичкина Т. Н., Капаруллина Е. Н., Доронина Н. В., Решетилов А. Н. Фунгицид карбендазим в России.....	249
Кувичкина Т. Н., Капаруллина Е. Н., Доронина Н. В., Решетилов А. Н. Опыт создания микробных амперометрических биосенсоров для определения низкомолекулярных органических соединений	254
Полиниченко А. Е., Лановая О. Д., Онасенко К. А., Мезга А. С., Ажогина Т. Н., Сазыкина М. А. Гены резистентности к антибиотикам микроорганизмов пробиотических препаратов.....	257
Лукаткин А. А., Лукаткин А. С. Утилизация послеспиртовой барды с использованием <i>Pseudomonas aureofaciens</i> для получения антифунгального биопрепарата	260
Седова Д. А., Морозова М. А. Обнаружение мультирезистентных штаммов энтерококков в сточных водах Ростовской области	264
Переломов Л. В., Герцен М. М., Сизова О. И., Мухторов Л. Г. Устойчивость металлоторерантных бактерий осадков сточных вод к β -лактамным антибиотикам.....	268
Медведева А. С. Разработка двухмедиаторной системы на основе поли(тионина) и растворимых редокс-соединений с использованием микроорганизмов эукариот для экспресс-определения индекса биохимического потребления кислорода	272
Миндубаев А. З., Бабынин Э. В., Тимофеева С. С. Рост <i>Aspergillus niger</i> AM1 на лигнинсульфонате и древесине.....	277
Романюк А. С., Гаевский Е. Е. Особенности формирования почвенной альгофлоры газонов вдоль транспортных магистралей г. Минска.....	280
Трушин М. В. Памяти Риммы Павловны Наумовой (1933–2013), основательницы нового направления утилизации промышленных отходов и оздоровления окружающей среды	281

СЕКЦИЯ 4
ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ
В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Лелекова Е. В., Хлебникова Л. И. Экология <i>Anaphalis margaritacea</i> (L.) A. Gray и его биоморфологические особенности в условиях интродукции в Ботаническом саду Вятского государственного университета	284
Абдураимов А. С., Данияров С. А., Абдураимова Д. С. Виды рода <i>Medicago</i> L. во флоре Таркапчигайского ботанико-географического района (Республика Узбекистан)	288
Убайдуллаев Э. А., Абдураимов А. С. Ареалогический анализ семейства Amaranthaceae флоры Мирзачульского ботанико-географического района (Республика Узбекистан)	291
Канев В. А. Материалы к флоре высших сосудистых растений лесного заказника «Ляльский» (подзона средней тайги Республики Коми)	293
Пыстина Т. Н., Паринова Т. А., Леонова О. Д. Лишайники природного рекреационного комплекса «Сосновый бор острова Ягры» (Архангельская область)	298
Пыстина Т. Н., Семенова Н. А. Лишайники карстовых форм рельефа на территории федерального заказника «Параськины озера» (Республика Коми)	303
Панюков А. А., Тетерюк Б. Ю. Флора копанных водоемов юга Республики Коми	306
Богданова А. А., Коннова Л. Н., Ульянова Я. А. Фитоценологические условия местообитаний <i>Adonis volgensis</i> в лесостепном Самарском Заволжье	309
Коннова Л. Н., Атанова К. Ю., Аветисян Н. А. Фитоценологические условия местообитаний <i>Oxytropis floribunda</i> в лесостепном Самарском Заволжье	312
Конопляников М. А., Артамонова А. Е. Бонитет и онтогенетическое состояние видов древостоя Аганинской дубравы	315
Кузнецов М. А. Качественная характеристика древесного опада отдельных технологических элементов вырубki среднетаежного ельника	319
Ильина В. Н., Рогов С. А., Рогова Н. А. К состоянию ценопопуляций редких степных видов растений памятника природы «Кутулукские Яры» (Самарская область)	322
Богданова А. А., Ильина В. Н. К состоянию ценопопуляций некоторых редких видов растений долино-водосборной геосистемы реки Кондурчи в верхнем течении (Самарская область)	324
Коновалова И. А., Скоробогатая М. Н., Лелекова Е. В. Структура ценопопуляций <i>Cypripedium calceolus</i> L. (Orchidaceae Juss.) в Афанасьевском районе Кировской области	327

Петрова С. М., Федотова Е. Е., Асоро Б., Марамохин Э. В. Особенности и флористическое разнообразие лугового биогеоценоза Аганинской дубравы	333
Топорова П. В., Максимов А. С., Лебедева М. В., Марамохин Э. В. Комплексное экологическое и флористическое изучение Аганинской дубравы г. Костромы	339
Пристова Т. А., Мигловец М. Н., Гончарова Н. Н., Загирова С. В. Запас углерода в надземной фитомассе низинного болота в подзоне средней тайги (Республика Коми)	345
Полякова Д. М., Хапкина А. В., Ягольник Е. А. Определение вторичных метаболитов в тысячелистнике обыкновенном, произрастающем в разных биотопах Щекинского района Тульской области	349
Горохова А. Г. Содержание ртути в экосистемах Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области	351
Фрунзе О. В. Изменение индекса толерантности декоративных травянистых растений в условиях загрязнения почвы ионами свинца	356
Пристова Т. А., Лиханова И. А., Федорков А. Л. Фитомасса надземной растительности рекультивированных карьеров Республики Коми.....	360
Зяблицева Я. И., Головьев М. Д., Адамович Т. А. Использование ультрафиолетовой спектрофотометрии для определения арбутина в водных и водно-спиртовых экстрактах листьев и плодов брусники и кизила.....	364
Емелев С. А., Лыбенко Е. С. Урожайность вегетативной массы некоторых сортов люпина узколистного на сидеральные цели	368
Емелев С. А. Влияние протравителей семян на развитие ярового ячменя Родник Прикамья	373
Щеклеина Л. М., Щеклеин М. А. Фитопатогенные грибы – источники микотоксинов	379
Сивков А. А. Методы изучения биоморфологии чистеца болотного (<i>Stachys palustris</i> L.) в условиях переменного обводнения	384

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

Герасимов Ю. Л. Зоопланктон как показатель состояния экосистемы пруда в г. Самаре	387
Гинатуллина Е. Н. Изменение качественного состава зоопланктона озера Айдаркуль под влиянием роста минерализации	390
Горячева Р. Г., Турмухаметова Н. В. Анализ инвазированности почвы, осадков и стоков очистных сооружений яйцами геогельминтов в Республике Марий Эл в 2018–2022 гг.	394
Зиновьева А. Н. Насекомые болотного заказника «Путанные озера» (Республика Коми, Россия).....	397

Козвонина Е. М., Кочурова Т. И., Козвонин Д. В., Козвонина В. В. Водные беспозвоночные зарослей макрофитов старицы Курья	401
Кочурова Т. И., Пестов С. В., Целищева Л. Г. Находки редких видов насекомых в Кировской области.....	406
Куватов А. К., Бекбергенов А. А., Азадбаева Ф. Р. Рост и плодовитость серебряного карася (<i>Carassius gibelio</i>), распространенного в Айдар-Арнасайской системе озер.....	408
Лименова С. А., Зарубин Д. С., Огородникова К. Д. Видовое разнообразие микромаммалий в заповеднике «Центральносибирский» в полевой сезон 2023 г.....	412
Мазеева А. В., Кулакова О. И., Татаринов А. Г. Проблемы охраны булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Papilionoidea) в Кировской области	417
Масленникова В. В., Масленникова О. В. Половозрастная структура <i>Canis lupus</i> по промысловой пробе в Кировской области.....	422
Мустакимова Д. И., Хасанова Р. Ф. Особенности содержания некоторых тяжелых металлов в жабрах леща обыкновенного (<i>Abramis brama</i> L.).....	425
Русских А. И., Жданова О. Б., Часовских О. В., Заметаева В. А., Рыболовлева А. А., Окулова И. И., Редькин Д. И., Дунаева Е. Б. Изучение распространения нематодозов грызунов и их опасность для человека	427
Селиванова Н. П. Интересные орнитологические находки на северо-западе Республики Коми. Заказник «Пижемский».....	431
Стеклова А. А. Изучение спектров насекомых-опылителей инвазивных видов растений Тульской области на примере люпина многолистного (<i>Lupinus polyphyllus</i>)	435
Сукачев А. Я., Рябов В. М. О встречаемости позвоночных животных, внесенных в Красную книгу Омской области, в окрестностях с. Рагозино Седельниковского района Омской области.....	440
Суходольская Р. А., Бакин О. В., Гордиенко Т. А., Вавилов Д. Н. Паттерны сезонной изменчивости численности жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в хвойных биоценозах Волжско-Камского заповедника	444
Урекин Е. А., Соколова Т. Л. Макробоентос озер Долгое и Дружинино Мантуровского кластера государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына	448
Фатеева А. А., Дитц А. А. Почвенная макрофауна в первые три года после рубки ельника черничного (Республика Коми).....	453
Шабалин Б. А., Левых А. Ю., Чернявский Л. Ю., Жигилева О. Н. Видовое разнообразие мелких млекопитающих в мониторинге состояния особо охраняемых природных территорий Севера России.....	458

СЕКЦИЯ 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА «ЗЕЛЕНый КОД ИЖЕВСКА»

И. Л. Бухарина, А. Г. Ковальчук, К. Е. Ведерников, Д. С. Рябов
Удмуртский государственный университет,
buharin@udmlink.ru

В статье представлен опыт реализации проекта «Зеленый код Ижевска». Раскрыты цель и задачи проекта, основные итоги реализации проекта.

Ключевые слова: зеленые насаждения, древесные растения, мониторинг, таксация, информационные системы.

Проект «Зеленый код Ижевска» в ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет» реализуется в рамках программы «Приоритет-2030», участником которой университет стал в 2021 г. Программа «Приоритет-2030» включает несколько стратегических проектов, один из которых «Новое качество жизни: ответ на современные биоэкологические вызовы» направлен на решение следующих задач: разработка пакета уникальных решений в области глобальных задач экологии, биотехнологий и промышленной экологии на принципах междисциплинарного подхода, конкурентоспособности и интеграции в научно-производственные сообщества; переход от фундаментальных и научно-прикладных исследований и разработок к созданию конкурентно способных и востребованных продуктов, их внедрение в реальный сектор экономики.

Важным показателем качества жизни в городах является состояние зеленого фонда. В последние годы в Ижевске (Удмуртская республика) осуществлено благоустройство и озеленение целого ряда общественных пространств. Тем не менее, имеется ряд проблем, связанных с зеленым строительством: стареющие насаждения, отсутствие организованной инвентаризации древесных насаждений и перспективного плана озеленения города. По инициативе Общественной палаты г. Ижевска для решения острых вопросов озеленения была создана рабочая группа «Зеленый код Ижевска», в состав которой вошли представители администрации города, ученые и общественные организации. Была разработана программа проекта и основные этапы работы. Специалистами УдГУ, которые на протяжении 20 лет изучают состояние и систему адаптивных реакций древесных растений к условиям городской

среды, был предложен проект по созданию автоматизированной системы мониторинга и паспортизации городских насаждений с целью оптимизации системы управления зеленым фондом, включающей инвентаризацию, паспортизацию насаждений, планированию и проектированию озеленения, создания и реконструкции насаждений за счет использования механизмов компенсационного озеленения. Для реализации этого проекта были заключены в 2022 и 2023 гг. муниципальные контракты на выполнение НИР «Создание автоматизированной информационной системы мониторинга состояния и содержания зеленых насаждений по результатам инвентаризации и паспортизации на основе таксационной оценки и анализа научных исследований состояния растений».

Исследование проводилось в три этапа: 1 этап – подготовительные работы; 2 этап – полевые работы; 3 этап – камеральная обработка.

Подготовительные работы включали: подготовку и анализ нормативной базы; подбор и апробирование мобильных приложений для геопозиционирования; определение и уточнение границ объекта; обеспечение топокартами и предварительную их обработку; обучение и коллективную тренировку по таксации деревьев. Был разработан макет паспорта озелененной территории.

В основе полевых работ производилась таксация деревьев и кустарников на исследуемых территориях. В процессе таксации проводилось описание по следующим критериям: вид/порода; диаметр ствола на высоте 1,3 м; определение возраста методом классов возраста; жизненное состояние деревьев и кустарников по 4-х бальной шкале (на основании шкалы состояния зеленых насаждений Решения городской думы г. Ижевска №199 от 29.11.2006 г.); диаметр кроны; фотографирование объекта; определение координат объекта при помощи мобильного приложения.

Метод классов возраста заключается в делении исследуемых объектов на группы: хвойные, твердолиственные, мягколиственные, кустарники. Продолжительность интервала классов возраста устанавливались следующие: хвойные и твердолиственные – 20 лет; мягколиственные – 10 лет; мягколиственные быстрорастущие (тополя, ивы и др.) – 7 лет; рябина – 5 лет. Для кустарников класс возраста не определялся.

При таксации насаждений применялся глазомерно-измерительный метод. В основе данного метода положено сочетание глазомерной таксации деревьев с выборочной измерительной таксацией. В качестве измерительных приборов применялись линейки (измерение диаметра), возрастной бур Haglof-350 (для определения возраста, прироста, выявления внутренних пустот), Resistograph (для определения возраста, степени гниения древесины, определение механического сопротивления).

Для позиционирования объектов исследования (деревья, кустарники, территории занятые травостоем и малые архитектурные формы) использовались сервисы и ресурсы геоинформационной системы. Для более удобного и быстрого сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации об объектах использовалось мобильное приложение.

Применение IT-технологий происходило и на этапе сбора первичной информации, её форматирования для дальнейшей загрузки в разрабатываемую геоинформационную систему. Для сбора первичной информации на местах были протестированы в работе следующие приложения – SWMaps, LocusGIS, Mappt, MapMarker и др. По совокупности параметров для массового сбора было выбрано приложение SWMaps с точки зрения сбора и выгрузки первичных данных, включая геопозицию, фотоизображение, данные замеров и экспертной оценки.

Собранные данные выгружались в табличный формат по мере накопления данных таксатором. Поскольку таксаторов было несколько, до этапа переформатирования данных приходилось синхронизировать выгруженные таблицы, исключать ошибочные записи. В дальнейшем ограниченные наборы данных можно собирать и другими приложениями, либо по геопозиционированию снимка.

Далее массив таблиц обрабатывался в специально разработанном скрипте, созданном на языке R. Скрипт собирал все таблицы из выгруженных файлов и преобразовывал их в формат geoJSON, необходимый для работы с API Яндекс-карт. В дальнейшем возможно применение любых других инструментов переформатирования табличных данных в формат geoJSON, включая онлайн-конверторы, картографические ИС (например, QGIS) и др. После переформатирования в формат geoJSON данные передавались таксаторам для дальнейшей корректировки. При помощи вспомогательных веб-сервисов таксаторы визуально оценивали результаты своей работы, исправляли некорректные данные. Выверенные переформатированные данные передавались далее для работы с API Яндекс-карт.

Все анализируемые приложения позволяют: создать геоинформационный проект, в рамках проекта слои, атрибуты; осуществлять импорт/экспорт проектов на веб-сервисы; создавать список данных для атрибута; загрузку мультимедиа в атрибуты объекта; производить экспорт мультимедиа.

Камеральный этап работ состоял из обработки полученных данных. Производился расчет классов возраста на основе анализа таблиц хода роста «нормальных» древостоев по видам (при отсутствии вида в таблицах за основу применялся близкородственный вид). Площадь деревьев и кустарников рассчитывалась в соответствии с методиками, применяемыми при таксации насаждений.

Для проверки данных и первичного анализа проект загружался GeoJSON. Данное расширение формата данных JSON, служит для передачи геоданных. Эта утилита позволяет сохранять информацию о географических объектах в формате GeoJSON и обрисовывать их в слое поверх карты.

После проверки данных формировалась карта существующих зеленых насаждений.

В настоящее время описаны более 20 тысяч деревьев и кустарников, подготовлено порядка 600 паспортов озелененных территорий. Получено Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

от 17.01.2023 г. № 2023611120 «Геоинформационная система управления зелеными насаждениями города «Зеленый код». Разработана шкала оценки состояния древесных растений в городе по показателям прижизненного инструментального метода оценки древесины.

В планах проекта показать возможность использования методов дистанционного исследования и технологий компьютерного зрения при инвентаризации насаждений. Важной задачей следующего этапа развития проекта мы видим вопросы климатической повестки и декарбонизации Ижевска с использованием потенциала зеленого строительства города.

**РЕАЛИЗАЦИЯ ВАЖНЕЙШЕГО ИННОВАЦИОННОГО
ПРОЕКТА ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ
«ЕДИНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ» В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ**

С. В. Загирова

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, zagirova@ib.komisc.ru

В статье обсуждаются итоги первого года выполнения важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ). Приведены сведения о разнообразии флоры и растительности, почвенного покрова, породном составе древостоев и подроста в лесных фитоценозах, сезонной вариабельности почвенного дыхания и экосистемного обмена диоксида углерода на тестовом полигоне «Ляльский» (Республика Коми).

Ключевые слова: важнейший инновационный проект государственного значения, мониторинг, углерод.

Для достоверной оценки способности природных экосистем Российской Федерации поглощать климатически активные вещества требуется проведение научных исследований в экосистемах различных климатических зон [1–3]. На решение этой задачи направлена реализация Федеральной научно-технической программы в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021–2030 годы, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 8 февраля 2022 г. № 133, и важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ). Одним из направлений этого проекта является разработка национальной системы мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации на основе интеграции данных наземного мониторинга, дистанционного зондирования и математического моделирования, создание системы учета данных по потокам парниковых газов и бюджету углерода в наземных экосистемах (<https://ritm-c.ru/about/>).

С этой целью создан консорциум «РИТМ углерода», в который вошли 21 организация науки и высшего образования из различных регионов России, в том числе Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Единая национальная система мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов предполагает организацию сети тестовых полигонов в разных климатических зонах и использование единых методик наблюдений. В число пяти полигонов мониторинга интенсивного уровня в 2023 г. включен тестовый полигон «Ляльский», который находится на территории лесного заказника «Ляльский» (Княжпогостский район, Республика Коми). Основная цель проведения исследований на территории полигона – оценка запасов углерода в фитомассе, мортмассе и почве, и проведение мониторинга потоков парниковых газов в лесных экосистемах. В первый год проведения исследований специалисты Института биологии решали следующие задачи: (1) экспресс-оценка древостоев методом реласкопических измерений, визуальный анализ живого напочвенного покрова и почв на территории тестового полигона; (2) создание сети постоянных пробных площадей для мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах; (3) сбор данных для наземного учета запасов углерода в растениях и почве, разнообразия почвенной биоты, потоков парниковых газов на постоянных пунктах наблюдений.

Общая площадь тестового полигона «Ляльский» составляет 4 км². Предварительная оценка разнообразия растительного и почвенного покрова основывалась на таксационных, геоботанических и почвенных описаниях на 274 реласкопических площадках. На следующем этапе организована сеть из 30 постоянных пробных площадей (ППП), которые в будущем будут постоянными пунктами мониторинга климатически активных веществ.

Исследования структуры и состояния лесных фитоценозов показали присутствие на большинстве пробных площадей следов хозяйственной деятельности человека. По данным лесной таксации, на 59% ППП по численности деревьев преобладает ель, на 27% – сосна, на остальных – береза (7%) и осина (7%). Значительная часть древостоев листовенных формаций имеет сложную вертикальную структуру с выделением нескольких ярусов, в которых преобладают разные породы. Количество растущих деревьев на ППП колеблется от 776 до 1944 шт./га, возраст среднего дерева лесобразующих пород варьирует в пределах 52–87 лет. Количество подроста составляет 1,0–4,4 тыс. шт./га. На основании данных наземного и дистанционного мониторинга подготовлена серия тематических карт распределения растительных сообществ на тестовом полигоне и прилегающих территориях.

В результате флористических исследований в границах полигона «Ляльский» выявлено 210 видов сосудистых растений (споровые, голосеменные, покрытосеменные), которые относятся к 136 родам и 51 семейству. Флора сосудистых растений имеет типичные бореальные черты, большинство показателей её систематической, географической и биологической структуры характерны для среднетаежных флор, присутствуют некоторые сорные виды.

Выявлены местообитания пяти видов, которые нуждаются в биологическом надзоре и включены в приложение к Красной Книге Республики Коми (2019) – пальчатокоренник пятнистый (*Dactylorhiza maculata*), пальчатокоренник Фукса (*Dactylorhiza fuchsii*), кокушник комариный (*Gymnadenia conopsea*), любка двулистная (*Platanthera bifolia*), фиалка удивительная (*Viola mirabilis*).

В пределах тестового полигона установлено достаточно высокое разнообразие почв, что обусловлено неоднородностью рельефа, распространением неоднородных почвообразующих пород, а также антропогенным воздействием, включая подсечное земледелие и пожары в предшествующие столетия. Почвообразующие породы представлены в основном двучленными отложениями (пески, подстилаемые суглинками) с присутствием гравийно-галечникового материала и карбонатов в составе суглинков. В хорошо дренированных условиях распространены подзолы иллювиально-железистые, подзолистые типичные почвы; в полугидроморфных условиях – подзолы иллювиально-железистые глееватые, торфяно-подзолы глеевые иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые, подзолистые глееватые, торфяно-подзолисто-глеевые; в гидроморфных условиях – сочетания различных типов и подтипов торфяных почв и торфяно-глееземов. На участках, подвергавшихся подсечному земледелию или рубкам, выделены подзолистые грубогумусовые и/или дерново-грубогумусовые почвы.

Регулярные измерения потоков диоксида углерода из почвы выполнены методом статических камер в ельнике разнотравно-черничном на типичной подзолистой почве и сосняке сфагновом на торфянисто-подзолисто-глееватой иллювиально-железистой почве. Отмечен постепенный рост почвенной эмиссии CO_2 с июня по август от 2,8 до 6,8 гС/(м² сут.) в сосняке и от 2,9 до 5,4 гС/(м² сут.) в ельнике. Установлена положительная связь эмиссии CO_2 с температурой почвы на глубине 10 см и отрицательная корреляция с влажностью почвы в слое 0–5 см.

Измерения экосистемного обмена парниковых газов методом турбулентных пульсаций показали, что благоприятный температурный режим в начале вегетационного сезона положительно влияет на нетто-обмен CO_2 елового леса, поэтому уже в апреле наблюдали незначительное поглощение CO_2 экосистемой. Сезонный ход нетто-обмена соответствовал изменению радиационного баланса в экосистеме, его скорость повышалась с апреля по июль. Однако, уже в первой декаде сентября отмечен переход экосистемы от стока к источнику CO_2 . В целом суммарный нетто-обмен с апреля по сентябрь составил – 345 г CO_2 /(м² ч), что свидетельствовало о выполнении функции стока диоксида углерода еловым насаждением в бесснежный период.

Определение содержания химических элементов, прежде всего углерода, в отобранных образцах растений и почв позволит оценить запасы углерода в лесных экосистемах на пробных площадях и на следующем этапе исследований объединить полученные данные наземных наблюдений с результатами дистанционного мониторинга разнообразия растительного и почвенного покрова тестового полигона.

Автор выражает благодарность зав. отделом, к. б. н. Е. М. Лаптевой, зав. отделом, к. б. н. Ю. А. Дубровскому, с. н. с., к. б. н. А. Ф. Осипову, н. с., к. б. н. М. Н. Кузнецову, в. н. с., к. б. н. В. В. Елсакову, с. н. с., к. б. н. А. А. Дитцу, н. с., к. б. н. М. Н. Мигловцу и всем сотрудникам Института биологии, принимавшим активное участие в выполнении проекта ВИП ГЗ.

Библиографический список

1. Вклад углекислого газа и воды в парниковый эффект / Н. В. Сырчина, Г. Я. Кантор, В. Н. Пугач, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 218–223.
2. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В. Альтернативная оценка вклада метана в парниковый эффект // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 3. С. 197–207.
3. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Моделирование углеродного баланса полигонов твёрдых коммунальных отходов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 198–204.

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

М. Г. Дворников

*Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова,
dvornikov50@mail.ru*

В статье представлены основы и опыт организации системы регионального экологического мониторинга компонентов в природных, природно-антропогенных и антропогенных объектах окружающей среды. Обобщены сведения за вековую историю для необходимых оценок состояния биоразнообразия, условий жизни человека и прогноза экологических рисков.

Ключевые слова: экологический мониторинг, уровни биоразнообразия, биологические показатели качества окружающей среды, устранение вреда окружающей среде.

Хорошо известно, что Российская академия наук за свою историю с 1724 г. имеет значительный потенциал. Это флагман и центр формирования научного мировоззрения, научно-технической политики и национальной стратегии развития государства и его регионов. «Программа фундаментальных исследований Президиума РАН» и, в частности, «Научные основы сохранения биоразнообразия» и «Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России», системно взаимосвязаны. Здесь задействованы все сферы исследований – от НИИ до высшего образования (где ведется подготовка будущих специалистов) с учётом совершенствования механизмов повышения квалификации, подготовки и защиты кандидатских и докторских диссертаций.

ций, экспертизы хозяйственных проектов, аттестации научных сотрудников и преподавателей по соответствующему направлению исследований (в данном случае по паспортам ВАК: экология (био); генетика, геоботаника, лесоведение, зоология (позвоночных и беспозвоночных), ветеринария, биохимия, биофизика, геохимия, охрана окружающей среды и т. д.). Подчеркнём, что среда жизни известна только на планете Земля, а биоразнообразие, его генетический, популяционный и экосистемный уровни взаимосвязанно поддерживают развитие состояния биосферы. По встречаемости и сравнению с кларками, в геохимических пробах и ореолах различных элементов обозначаются природная среда и её элементарные объекты, территории примерных популяций, для уточнений проводятся фенотипические анализы. Отметим, что исследования (Московских НИИ) по изотопному мечению консументов проводились в СССР издавна, и, в частности, на территории от г. Глазова до г. Малмыжа. С 1989 г. были задействованы известные стационары. Исследования проводились по персональной программе «Изучение зависимости разнообразия биосистем, их эффективности функционирования и устойчивости при воздействии природных и антропогенных факторов в провинции Вятско-Камской возвышенности». Здесь учтены главные принципы из известных наставлений «Уровни организации биологических систем» и особенности бассейна р. Вятки с не зарегулированным водотоком (в этом случае возможны экологические риски, т. к. даже в бобровых прудах проходит очистка от загрязняющих веществ), где в основном расположены и особо охраняемые природные территории. Первоначально изучена динамика зональных экосистем в голоцене, по пыльцевым и костным останкам отмечены виды-индикаторы и прослежены этапы антропогенно-промышленных преобразований региона. Выявлено, что мутагенность природной среды (по вектору стока) на водоразделах менее заметна чем в долинах, а устойчивое развитие и использование живых компонентов среды в природных, природно-антропогенных и антропогенных объектах и биоразнообразия (термины и понятия по ФЗ № 7 и ФЗ № 52), прослеживается только в регионально-провинциальном аспекте, когда наличие популяционных и естественных экологических систем подтверждено (зафиксировано) реально, а не рассматривается только в качестве термина. Сравнительно это заметно при локальном и региональном уровнях мониторинга. В первом случае он волновой, а на обширной территории автоволновый [1, 2]. В системе АН СССР (ныне – РАН) с участием профильных академических НИИ, а также ЦНИЛ охотничьего хозяйства и Центральной лаборатории охраны природы (ЦЛОП), находящихся в ведомственном подчинении Главного управления заповедников и охотничьего хозяйства Минсельхоза СССР, на всероссийских конференциях всегда широко обсуждались проекты организации сети государственных заповедников – зональных эталонов природы. Сейчас в ведении Минприроды России (МПР) находятся 107 госзаповедников и 68 национальных парков. Они являются лабораториями в естественных экологических системах, где пробные площади и архивы анализов проб из компонентов среды преемственно сохра-

няются. Соответственно, зональные оценки их функционирования прослеживаются согласно персональным программам исполнителей и по научным отчётам (в частности, по «Летописям природы») уже конкретного природно-научного учреждения. Здесь, тоже преемственно, ведутся исследования по известным методическим наставлениям: «Летопись природы в заповедниках СССР», «Динамика органического вещества, биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительного покрова», «Программа и методика биогеоценологических исследований», «Методические рекомендации по ведению мониторинга на особо охраняемых природных территориях», и т. д. Таким образом по биологическим, химическим и физическим показателям (или их совокупности) прослеживалось качество окружающей среды. При этом следует отметить, что ведение экологического мониторинга (локальный уровень) и содействие в подготовке высококвалифицированных – профильных кадров является одной из основных задач, возложенных на государственные природные заповедники (ФЗ № 33). Соответственно, в региональной сети ООПТ (т. е. здесь выше уже и уровень мониторинга – региональный) научные сотрудники заповедников, в содружестве с преподавателями и студентами профильных институтов при университетах, закладывают стационары и проводят мониторинговые работы в региональных заказниках и т. д. Так, не виртуально, а реально возникают предпосылки к подготовке представителей научных экологических школ и регионального кадрового потенциала по обозначенным выше специальностям. На рубеже перестройки основы природоохранного законодательства были заложены с участием руководителя Минприроды СССР, известного зоолога, д. б. н. Н. Н. Воронцова. В иных условиях развития страны в МПР произошла смена интеллектуального потенциала, что проявилось в подведомственных региональных службах и заповедниках. Они, наряду с отчётной информацией о хозяйственной деятельности природопользователей, надзорных служб и т. д., представляют и ежегодные региональные доклады «О состоянии окружающей среды». Это официальный аналитический документ, и необходимо, чтобы качество его соответствовало названию, причём действительно бы проявлялась забота о состоянии здоровья населения (главного компонента Природы – человека разумного). Следует отметить, что в первое десятилетие функционирования Облкомприроды региональные доклады были менее объёмны, но более информативны. При анализе содержания научно-исследовательских работ учёных Приволжского федерального округа и Кировской области заметен дефицит выше обозначенных кадров и, соответственно, дисбаланс в перспективах научных комплексных исследований [3]. Повторные мониторинговые исследования на стационарных площадках показали, что загрязняющие вещества присутствуют даже в ООПТ (ГПЗ «Нургуш», зелёная зона г. Кирова) и вовлекаются в пищевую цепь компонентов биогеоценозов [2, 4]. В частности, на основе анализа проб осадков и водотоков, фитомассы (включая основу почвообразования: фракции живой массы, ветоши, опада и отпада, т.е. первого ландшафтного рубежа), почвы, фитопланктона, донных отложений, рыб, зем-

новодных, беспозвоночных, птиц, млекопитающих (в т. ч. охотничьих животных) отмечалась популяционная геохимическая метка. Заметно, что ореолы загрязняющих веществ от антропогенных объектов (в т. ч. известных аварий на Южном Урале) за шестидесятилетний период уже в малых концентрациях территориально значительно расширились и на смежные урбанизированные территории. У добытых на путях кочёвок и миграций копытных и хищных зверей в костях присутствовали и радионуклиды. В итоге были определены биологические показатели качества среды, коэффициенты накопления и пропорциональности. В другом случае, по инициативе учёных была проведена геохимическая съёмка вокруг территории Ильменского заповедника (ГПЗ организован в 1920 г.), и она показала ореолы более 30 химических элементов, поступающих с осадками и пылью с участков антропогенных объектов, т. е. от промышленных источников за 5–100 км, однако след от лабораторного гамма-поля (в ГПЗ, хотя здесь в опытах использовались короткоживущие изотопы) остался. Заметим, что в своё время научные основы исследований в «природной лаборатории» и на пробных площадках обсуждались на «Миассовских семинарах», проводимых д. б. н. (специализация – генетика, радиационная биогеоценология) Н. В. Тимофеевым-Ресовским (в последние годы жизни он был научным консультантом в ряде московских НИИ), специалистом по эволюции популяций, д. б. н. Н. Н. Воронцовым с непосредственным участием чл.-корреспондентов и академиков АН СССР: кибернетика биосистем А. А. Ляпунова, географа-почвоведов С. В. Зонна, лесоведа Б. П. Колесникова, эволюциониста А. В. Яблокова, эколога С. С. Шварца и др., а также кураторов: Ю. Б. Харитона и Г. А. Середы. Позднее была представлена «Карта экологического состояния территориальных комплексов Челябинской области» и многие недостатки были устранены. Научные основы деятельности учёных Ильменского заповедника (с периода первой радиевой экспедиции в Ильменах и России) преемственно рассмотрены Л. А. Буториной [5], М. Г. Дворниковым [6] и др., а организация и становление научной экологической школы на Урале и в Предуралье (в т. ч. и ГПЗ «Нургуш») – М. Н. Загуменовым, М. Г. Дворниковым, В. В. Антиповым, И. Н. Дворниковой [7]. Сравнительные результаты научной деятельности и кадрового потенциала в Кировской области по специальности скромны и не соизмеримы, не нашлось и сподвижников, хотя ранее была представлена научная программа экологического мониторинга [8]. Даже столбы на стационарах, обозначавшие пробные площади и экологические профили, в упомянутых выше ООПТ региона не сохранились. Проблемы кадрового потенциала нужно решать своевременно и двигаться к согласованному природопользованию [9].

Считаем, что устранение и переработку радиоактивных отходов нужно проводить в регионах, где есть НЦ АН РФ; совершенствовать научный специалитет учёных, педагогов и стремиться к зрелой сети ООПТ; проектанты и региональные операторы обязаны обозначать экологические риски, рекультивировать антропогенные объекты и представлять государственные социаль-

ные гарантии населению (примером тому является деятельность Г. М. Середы и его сподвижников).

Библиографический список

1. Мониторинг природных и природно-антропогенных объектов в провинции Вятско-Камской возвышенности / М. Г. Дворников, В. В. Ширяев, В. Г. Сафонов, Д. П. Стрельников // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 91–96.
2. Экология, сохранение и использование ресурсов промысловых млекопитающих на Северо-Востоке Европы / М. Г. Дворников, И. А. Домский, В. В. Ширяев, А. А. Сергеев. Киров : ВЕСИ, 2021. 291 с.
3. Дворников М. Г. Млекопитающие в экосистемах бассейна реки Вятка (на примере особо охраняемых и освоенных территорий). Киров : Областная типография, 2007. 352 с.
4. Дворников М. Г. Мониторинг природных и трансформированных объектов в бассейне р. Вятка // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 10–15.
5. Буторина Л. А. Ильменский государственный заповедник в отечественной науке : автореф. дис. ... канд. ист. наук. М., 1999. 24 с.
6. Дворников М. Г. Заповедное дело: курс лекций и практических занятий. СПб. : Лань, 2019. 168 с.
7. Основы общей экологии : учебное пособие / М. Н. Загуменов, М. Г. Дворников, В. В. Антипов, И. Н. Дворникова. Киров : Лобань, 2023. 269 с.
8. Дворников М. Г., Бородин П. Л., Харитоновна Н. В. Перспективные научные исследования в особо охраняемых природных комплексах // Материалы 5 международной науч.-практ. конф. Кирово-Чепецк, 1998. С. 93–94.
9. Охрана и использование животных и растительных ресурсов Камского бассейна / М. Г. Дворников, В. В. Ширяев, А. А. Сергеев, И. А. Домский // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии : сб. докладов. Часть 2. Иркутск : Иркутский ГАУ, 2023. С. 308–314.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ БИОДИАГНОСТИКИ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

Т. К. Антал

Псковский государственный университет

В статье отмечается о том, коллективом лаборатории Псковского государственного университета совместно с кафедрой биофизики биологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова разработаны измерительные установки для определения кинетических кривых флуоресценции хлорофилла, а также разработаны методы анализа и обработки полученных данных.

Ключевые слова: фотосинтетическая активность фитопланктона, установка для определения кинетических кривых флуоресценции, флуоресценция хлорофилла, мультиэкспоненциальный анализ.

Фотосинтетическая активность фитопланктона является одним из ключевых индикаторов состояния водной экосистемы. В связи с этим существует необходимость создания высокочувствительных оптических приборов и алгоритмов математического анализа данных, позволяющих быстро и качественно оценивать данный показатель. К таким методическим подходам предъявляются следующие основные требования: высокая чувствительность к стрессовым факторам и возможность проведения измерений в режиме реального времени в широком диапазоне концентраций хлорофилла.

Коллективом авторов кафедры биофизики биологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова и лабораторией комплексных экологических исследований Псковского государственного университета разработаны две измерительные установки на основе оригинального компактного флуориметра «Fluorescence kinetic system», позволяющего измерять три типа кинетических кривых флуоресценции хлорофилла с высоким временным разрешением: ОЛР кривые, индукционные кривые замедленной флуоресценции, кинетики затухания быстрой флуоресценции. Измерения проводятся в широком диапазоне концентраций хлорофилла: от 0,1 мкг Хл/л до 10 мг Хл/л.

Первая установка – «Portable spectral and fluorescence kinetic system» – снабжена флуориметром и спектрофотометром с проточной измерительной камерой в виде интегрирующей сферы. Она предназначена как для биотестирования образцов воды с использованием зеленых микроводорослей в качестве тест-культур, так и для биоиндикации состояния водоемов.

Вторая установка – «Automatic fluorescence kinetic system» – предназначена для непрерывной работы в автоматическом режиме в полевых условиях, позволяя проводить забор проб из водоема, измерять кинетические кривые флуоресценции хлорофилла и обеспечивать обмен данными с сервером дистанционно посредством мобильной связи.

Для обработки данных разработаны алгоритмы мультиэкспоненциального анализа, позволяющие с высокой точностью определять параметры компонент кинетических кривых, а также оригинальные методы нейросетевого анализа. Разработанные приборы и методы анализа данных успешно апробированы в ходе нескольких исследовательских проектов [1, 2].

Работа была поддержана Российским научным фондом (грант № 23-24-00353).

Библиографический список

1. Acclimation response of green microalgae *Chlorella sorokiniana* to 2,3',4,4',6-pentachlorobiphenyl / A. A. Volgusheva, D. Todorenko, I. V. Konyukhov, E. N. Voronova, S. I. Pogosyan, T. Yu. Plyusnina, S. S. Khrushev, T. K. Antal // *Photochemistry and Photobiology*. 2022. doi: 10.1111/php.13771
2. Выявление токсического воздействия тяжёлых металлов на фитопланктон с помощью нейросетевого анализа индукционных кривых флуоресценции хлорофилла / С. С. Хрущев, Т. В. Дрозденко, Т. Ю. Плюснина, И. В. Тимофеев, Д. А. Тодоренко, Е. И. Тихомирова, Т. К. Антал // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 2. С. 134–141. doi: 10.25750/1995-4301-2021-2-134-141

К ВОПРОСУ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ МЕТОДОМ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. В. Труханов, А. И. Чернышков, И. С. Сабитов
Артиллерийский инженерный институт,
try-84@mail.ru

В статье рассмотрены аспекты фрактального анализа изображений, как метода мониторинга экологической обстановки. Предложено применять клеточный алгоритм основанный на определении размерности для построения карты и гистограммы фрактальной размерности исходного изображения.

Ключевые слова: оценка экологической обстановки, фрактальный анализ изображений.

В настоящее время вопросам мониторинга экологической обстановки регионального, федерального и межгосударственного уровня уделяется все больше внимания. Соответствующие практические задачи в автоматизированном режиме, как правило, решаются с привлечением средств космического и воздушного наблюдения. Среди множества реализованных и перспективных проектов в данной области следует выделить [1]: зарубежные комплексы космического базирования – «ERS-2» и «Envisat» (Европа), «Radarsat-2» (Канада), «ALOS» и «IGS» (Япония), «TerraSAR-X» (Германия), «CosmoSkyMed» (Италия), «RSS/JB» (Китай); российские – «Кондор», «Ресурс-ДКР», «Смотр», «Север», «Монитор», «Аркой»; воздушные «Hisar» (США), «E-SAR» (Германия), «EL/M-2060P SAR» (Израиль), «Имарк» и «Компакт» (Россия); средства на беспилотных носителях «AN/ZPQ-1 TESAR» и «AN/APY-8 Lynx SAR/GMTI» (США), «EL/M-2055 SAR/MTI» (Израиль).

В части мониторинга экологической обстановки данные средства и комплексы решают следующие задачи [1, 2]:

1. Мониторинг зон стихийных бедствий.
2. Отслеживание состояния лесных и водных массивов, сельскохозяйственных угодий и т. п.
3. Мониторинг и оценка дорожной обстановки и др.

Изображения, полученные при помощи указанных средств, отличаются потенциально высокой разрешающей способностью, поэтому являются ключевым элементом современных и перспективных информационных систем.

Наряду с традиционными методами космической и авиационной съемки все более востребованной становится съемка с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) (рис. 1, 2) [2, 3].



Рис. 1. Востребованность съемки посредством БПЛА

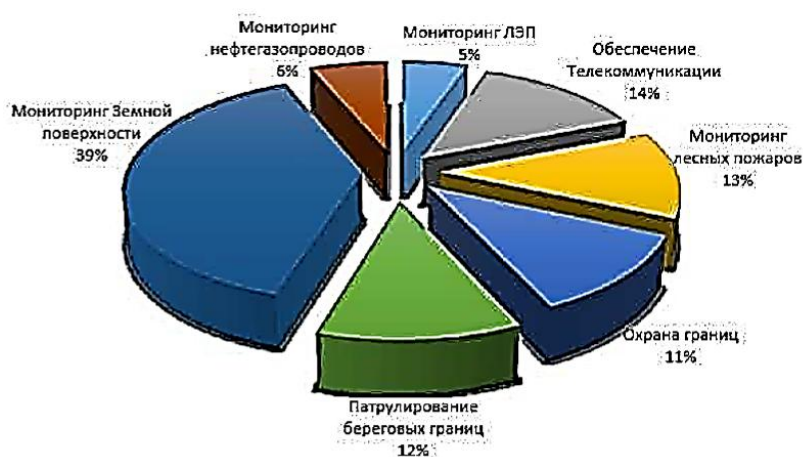


Рис. 2. Состояние рынка услуг с применением коммерческих БПЛА на 2015 г.

В области лесоохранной деятельности применение средств ДЭЗ (авиационной техники, в том числе БПЛА) позволяет существенно повысить эффективность решения следующих задач [3, 4].

1. Борьба с лесными пожарами:

- проведение воздушной разведки кромки действующего крупного пожара;

- использование БПЛА в качестве географически привязанного воздушного пункта наблюдения («летающей вышки»);

- патрулирование локальных площадных сельскохозяйственных или линейных промышленных объектов;

- осмотр действующих пожаров (в т. ч. с использованием инфракрасных камер);

- использование БПЛА в качестве ретранслятора УКВ-связи при организации радиосвязи на лесных пожарах;

- мониторинг состояния торфяных пожаров.

2. Мониторинг лесопользования:

- оперативное инспектирование мест проведения рубок и иных хозяйственных мероприятий в лесах;

- противодействие незаконным рубкам в лесах.

3. Лесозащита:

- оперативный осмотр незначительных по площади лесных участков.

4. Лесоустройство:

– плановая аэрофотосъёмка крупных участков насаждений лесничеств или оперативная – небольших участков по заказу лесопользователя.

При этом расчётный объем суточных воздушных съемок с помощью современных комплексов наблюдения и мониторинга, способных дать в результате изображение сотен тысяч квадратных километров местности со средним разрешением или десятков тысяч – с высоким, потребовал бы ежесуточного привлечения нескольких тысяч операторов, способных в течение шестичасовой смены обрабатывать каждый снимок форматом $0,2 \times 0,2$ м (1024×1024 элементов изображения) примерно за 1,5–2 минуты. Данные обстоятельства требуют разработки алгоритмов, методов и процедур автоматизированной обработки изображений для их анализа и распознавания объектов.

Одним из перспективных способов обработки изображений, поступающих от средств наблюдения и мониторинга являются алгоритмы и методы фрактального анализа изображений [5–7].

Особенностью фрактальных методов является то, что при обработке изображений местности удастся описать уникальность наблюдаемого объекта при помощи одного параметра – фрактальной размерности, что дает возможность осуществить предварительное автоматическое сегментирование анализируемого изображения путем выделения кластеров заданного диапазона значений фрактальных размерностей.

Под процессом фрактальной обработки понимается последовательное выполнение следующих этапов.

1. Построение поля (карты) фрактальных размерностей изображения и его пороговая обработка.
2. Построение гистограммы фрактальной размерности изображения и ее анализ.
3. Кластеризация изображения по полю фрактальных размерностей.

Одним из вариантов представления результатов фрактального анализа изображений является гистограмма распределения значений фрактальной размерности, которая имеет границы в некотором диапазоне. На основе полученной гистограммы возможна организация автоматизированной классификации объектов на анализируемом изображении и их кластеризация.

Последовательность действий для фрактального анализа изображений представлена на рисунке 3.

Предложенная последовательность действий для фрактального анализа изображений реализована в программном обеспечении, эффективность применения которого экспериментально проверена.

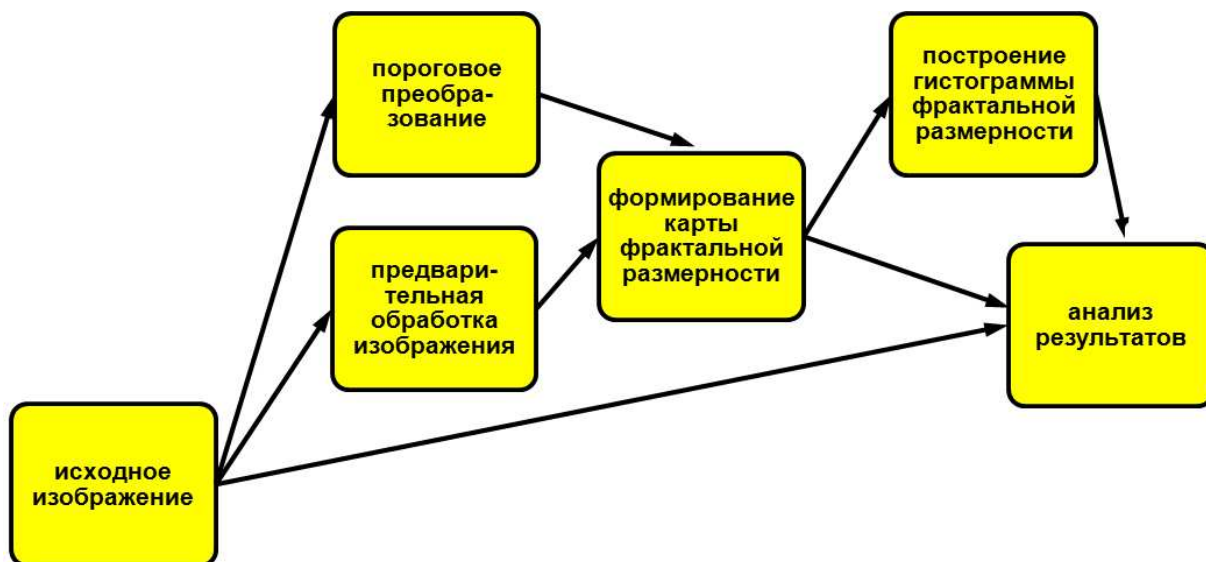


Рис. 3. Последовательность действий при анализе изображений с применением фрактальных методов

При подготовке изображений для построения карты фрактальной размерности использовались следующие пространственные методы предварительной обработки: экранизация гистограммы, преобразования Собела, преобразование Кирша, преобразование Лапласа, пороговое преобразование. В результате обработки изображения формируется его черно-белый вариант, на основе которого рассчитываются карта и гистограмма фрактальной размерности.

Построения карты фрактальной размерности изображения производилось в скользящем окне размером $K \times K$ точек с заданным шагом $5 = K$. Для расчета фрактальной размерности фрагмента изображения, ограниченно-го окном применялся метод квадратов на основе использования размерности Минковского [5]. Значение фрактальной размерности области изображения в окне зависит от ее содержания, а также от размера окна, и лежит в интервале $(0,0-2,0)$. С ростом размера окна происходит увеличение значения фрактальной размерности соответствующего фрагмента изображения.

Анализ гистограммы фрактальной размерности позволяет выделить особенности объектов изображения и выполнить процедуру кластеризации – оценку доли площади изображения занятой ими.

На рисунке 4 представлены результаты фрактального анализа изображений, соответствующих задачам 1 и 2.

Рисунки показывают, что применение методов предварительной обработки изображений позволяют с применением размерности Минковского построить карту фрактальной размерности изображения.

На рисунке 4 представлен фрагмент изображения содержащий лес, водоём, сеть грунтовых дорог. При предварительной обработке изображения применялось преобразование Собела. При этом, гистограмма фрактальной размерности имеет три явных всплеска в интервалах $0-0,1$; $0,6-1,0$; $1,4-1,65$.

Первый интервал соответствует фрактальной размерности зеркала водоема, второй – области занятой грунтовыми дорогами и порослью кустарника; третий – лесному массиву.

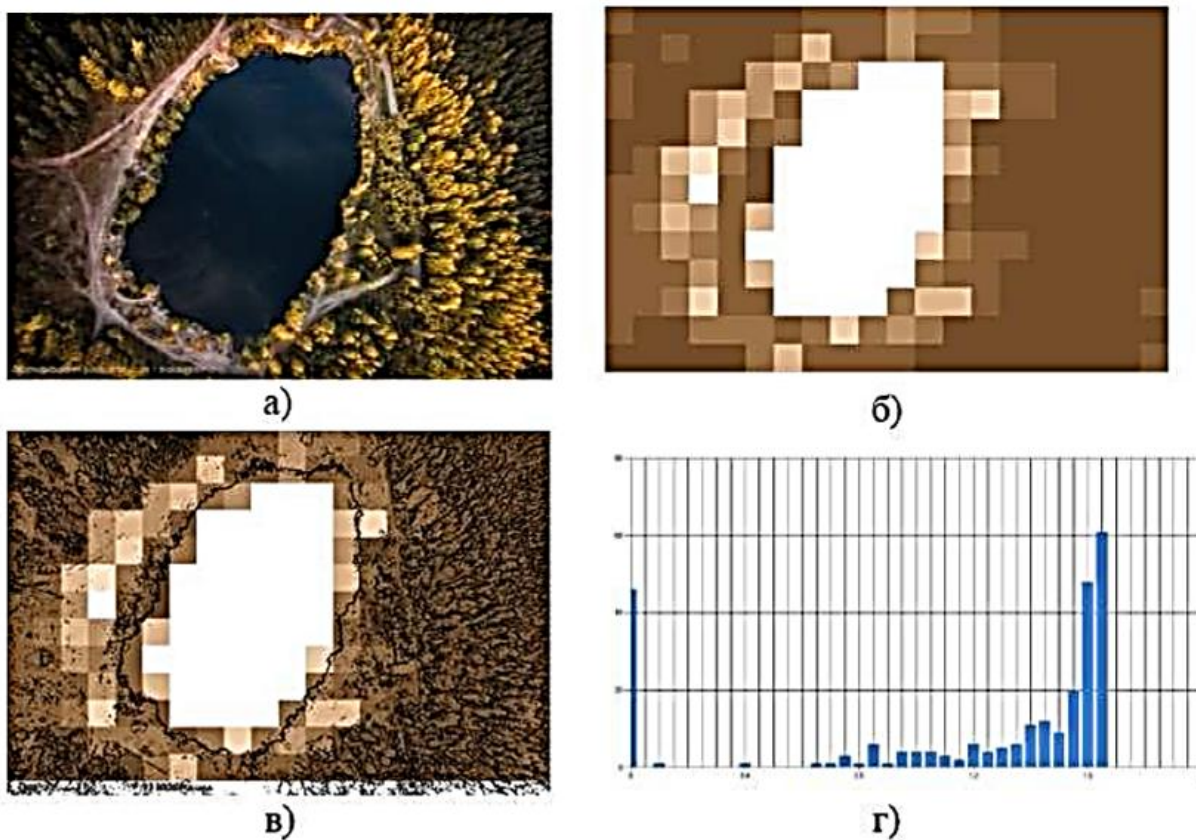


Рис. 4. Результаты фрактального анализа изображения:
а – исходное изображение; б – карта фрактальной размерности;
в – комбинированное изображение; г – гистограмма фрактальной размерности
изображения. Размер изображения – 800×54 , размер окна оценки
фрактальной размерности – 40

Следует отметить, что карта фрактальной размерности позволяет однозначно выделить такие объекты на изображении, как береговую линию водоема, поросшую кустарником и отдельно стоящими деревьями, лес, поверхность водоема.

Анализ полученной гистограммы фрактальной размерности (рис. 4г) позволяет оценить доли площади занимаемыми на изображении такими объектами, как лес и водоем. Так для изображения, представленного на рисунке 4, доля леса составляет 52%, а площадь, занимаемая озером – 21% от общей площади изображения, для которой построена гистограмма.

Аналогией рассмотренному выше процессу, является применение данного метода при исследовании очагов лесных пожаров. Применение методов фрактального анализа позволяет выделить на изображении зоны задымления и возгорания, осуществить грубую оценку его местоположения и площади.

Также следует отметить возможность использования рассматриваемых методов анализа для мониторинга изображений, содержащих участки морской поверхности с разливом нефти. Однако при предварительной обработке таких изображений необходимо применять преобразование Собела, так как на снимках незагрязненная нефтью поверхность моря не имеет ярко выраженной структуры. В то же время, применение преобразований изображения, использующих первую и вторую производную (Кирша, Собела, Лапласа и др.), не позволяют выделить зоны наибольшего загрязнения, имеющие однородную структуру.

В заключении статьи следует отметить, что применение методов фрактального анализа позволяет успешно решать задачи кластеризации объектов экологического мониторинга, оценивать их состояние, выявлять аномалии, имеющие последствия для экологической обстановки, а также оценивать развитие аномальных ситуаций. Вычислительная сложность алгоритмов фрактального анализа позволяет, в случае реализации их на современной вычислительной технике, оперативно обрабатывать достаточно большие массивы информации.

Библиографический список

1. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М. : Техносфера, 2010. 560 с.
2. Данилов Л. С. Система экологического мониторинга окружающей среды с использованием малогабаритных беспилотных летательных аппаратов // Экология и промышленность России. М. : Изд-во Калвис, 2013. № 9. С. 4–7.
3. Федоров Л. М. Эффективность мониторинга техногенных объектов с применением беспилотных летательных аппаратов // Доклады БГУИР. Минск. 2015. № 7 (93). С. 129–130.
4. Коршунов Н. Л., Котельников Р. В. Борьба с лесными пожарами: проблема информационного обеспечения авиасредствами и ее решение // Пожарная безопасность. 2008. № 1. С. 125–129.
5. Венков О. В., Нехаев И. В., Чернышков А. И. Оценка эффективности применения фрактальной размерности изображений контуров объектов для формирования дополнительной их характеристики в многоканальных системах распознавания образов // Труды РНТОРЭС имени Попова. Серия: Научные сессии Тульской областной организации. Выпуск XXXVI. Тула, 2018. С. 185–191.
6. Потапов Л. Л. Фракталы в дистанционном зондировании // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2000. № 6. С. 3–65.
7. Потапов Л. Л. Новейшие методы обработки изображений. М. : Физматлит, 2008. 496 с.

БИОСЕНСОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ БАКТЕРИЙ *PARACOCCLUS YEEI* ВКМ В-3302 И КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ

В. А. Перцева

Тульский государственный университет, violpertz@mail.ru

В данной статье изложено получение гетерогенного биокатализатора для выявления поверхностно-активных веществ в водной среде на основе бактерий *Paracoccus yeei* ВКМ В-3302, иммобилизованных в кремнийорганическую золь-гель матрицу. Приведена сравнительная характеристика с методом адсорбции на поверхности стекловолоконного фильтра.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, биосенсор, золь-гель матрица, бактерии *Paracoccus yeei*, иммобилизация микроорганизмов, биорецепторный элемент.

Значительную часть антропогенной нагрузки, приходящейся на поверхностные водные объекты, составляют сточные воды. Особую опасность в них представляют поверхностно-активные вещества (ПАВ), входящие в состав тканей, красок, пластмасс, пестицидов, гербицидов, бумаги, фармацевтических препаратов, моющих средств и предметов личной гигиены. С ростом заболеваемости населения также увеличилось выделение ПАВ, применяемых для дезинфекции и повышающих уровень токсичности в водных экосистемах [1].

Применяют различные методы анализа загрязнения сточных вод, но многие из них имеют свои недостатки. Химические методы анализа дают возможность определить лишь значительные содержания поверхностно-активных веществ в пробах, а также при их использовании применяют токсичные растворители, что негативно влияет на экологию. К физическим методам относится методика, основанная на образовании анионными ПАВ ионных ассоциатов с метиленовым синим в щелочной среде, экстракции их в хлороформ и последующим фотометрированием экстракта, но даже малое содержание хлороформа в воздухе пагубно влияет на работу центральной нервной системы, кроме того, продукты его окисления, попадая в окружающую среду, участвуют в разрушении озонового слоя атмосферы [2].

В связи с этим значительное внимание уделяется разработке биосенсорных методов контроля загрязненности поверхностно-активными веществами, значительно повышающих оперативность анализа и снижающих его стоимость. Биосенсоры на основе клеток микроорганизмов целесообразно использовать, поскольку они приспособляются к условиям окружающей среды, остаются активными в течение длительного периода времени и могут реагировать на все стимуляторы. Клетки имеют тенденцию прикрепляться к поверхности, поэтому их можно легко иммобилизовать в золь-гель матрицу, ко-

торая предотвратит их вымывание и позволит биорецепторному элементу дольше и стабильнее функционировать без замены биоматериала [3].

В работе был сформирован биорецепторный элемент биосенсора с иммобилизованными бактериями *Paracoccus yeii* ВКМ В-3302, выделенными из активного ила, в кремнийорганическую золь-гель матрицу, используя соотношение силановых прекурсоров тетраэтоксисилана (ТЭОС) и диметилдиэтоксисила (ДМДЭС) 50/50 об. % в условиях основного катализа с применением NaF, структурообразующим агентом был выбран хитозан. Для оценки каталитической активности иммобилизованных клеток в золь-гель матрицу по сравнению с методом адсорбции на стекловолоконном фильтре измерялись характеристики чувствительности сенсора. В качестве субстрата использовался додецилсульфат натрия, а физико-химическим преобразователем выступал кислородный электрод Кларка.

Иммобилизованные клетки бактерий окисляли субстрат на поверхности кислородного электрода, при этом возрастала их дыхательная активность, в приэлектродном пространстве снижалась концентрация кислорода, скорость убыли которого регистрировалась с помощью электрода. В ходе измерения формировалась зависимость значения концентрации кислорода в приэлектродном пространстве от времени. По полученным данным для разных типов иммобилизации были построены градуировочные зависимости ответа сенсора от концентрации субстрата (рис. 1), по которым можно найти такие параметры, как коэффициент чувствительности и константа Михаэлиса, являющейся также верхней границей определяемых концентраций. Уравнение Михаэлиса-Ментен показывает взаимосвязь константы Михаэлиса (K_M), биологический смысл которой заключается в характеристике сродства фермента к субстрату, максимально возможной скорости (r_{max}), реальной скорости реакции (r) и концентрации субстрата ($[S]$):

$$r = \frac{r_{max} \cdot [S]}{K_M + [S]}$$

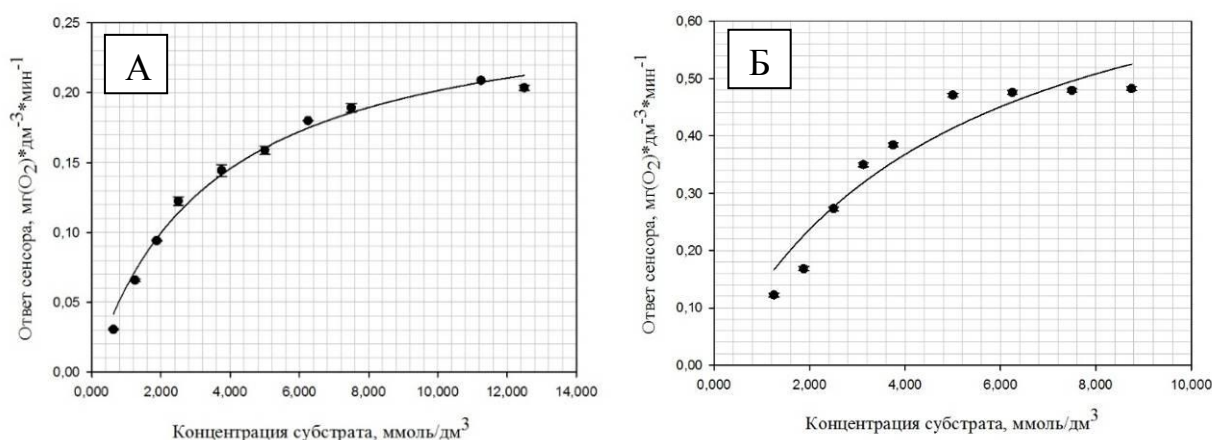


Рис. 1. Градуировочная зависимости ответа сенсора от концентрации субстрата для метода: А – золь-геля; Б – адсорбции

Коэффициент чувствительности (S) находится как тангенс угла наклона прямой, заканчивающейся верхней границей определяемых концентраций в линейной области градуировочного графика (рис. 2).

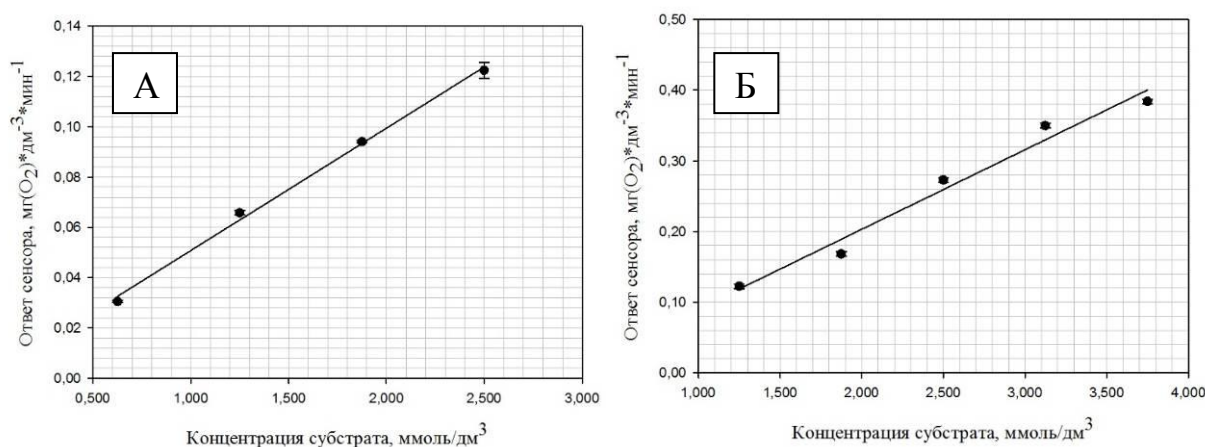


Рис. 2. Линейный участок зависимости ответа сенсора от концентрации субстрата для метода: А – золь-геля; Б – адсорбции

Нижняя граница определяемых концентраций (C_n) определяется рядом значений стандартного отклонения при различных концентрациях, где $S_r(C)_{\max} \leq 0,33$.

Таблица

Сравнение характеристик биосенсоров на основе клеток *Paracoccus yeii*, иммобилизованных в золь-гель матрицу и методом адсорбции

Характеристика	<i>P. yeii</i> ВКМ В-3302, иммобилизованные в золь-гель матрицу с соотношением ТЭОС/ДМДЭС 50/50, об. %	<i>P. yeii</i> ВКМ В-3302, адсорбированные на стекловолоконном фильтре
Коэффициент чувствительности, $10^{-3} \times \text{мг}(\text{O}_2) \cdot \text{ммоль}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$	49±5	110±20
Нижняя граница определяемых концентраций, мкмоль/дм ³	47	92
Константа Михаэлиса, мкмоль/дм ³	3400±400	5000±2000

Полученные результаты (табл.) показали, что иммобилизация *P. yeii* в кремнийорганическую золь-гель матрицу позволила получить рецепторный элемент биосенсора, с меньшей нижней границей определяемых концентраций по сравнению с клетками, адсорбированными на стекловолоконном фильтре. Это связано с наиболее эффективным удерживанием иммобилизованных золь-гель методом бактерий. Коэффициент чувствительности в золь-гель матрице ниже, что связано с ее пространственной структурой, так как субстраты могут не сразу проникать вглубь матрицы. Метод адсорбции позволяет субстратам беспрепятственно поступать к клеткам, но воспроизводимость полученных результатов будет хуже, поскольку имеет место вымывание биоматериала.

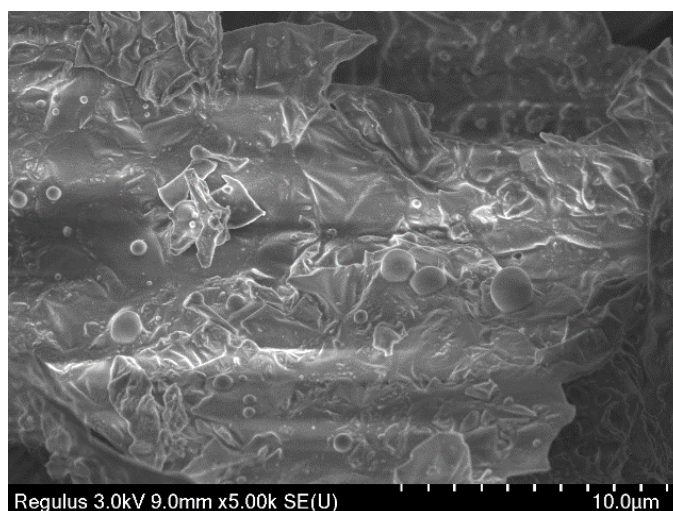


Рис. 3. Сканирующая электронная микроскопия иммобилизованных клеток бактерий *Paracoccus yeii* в золь-гель матрицу

На сканирующей электронной микроскопии (рис. 3) можно увидеть прикрепленные к складкам золь-гель матрицы сферы диаметром от 0,5 до 1,5 мкм. Внутри этих сфер, вероятно, находятся клетки бактерий. Это соответствует описанию в литературных данных бактерий *Paracoccus yeii* [4], что доказывает эффективность их удерживания в матриксе гидрогеля. Сама матрица представляет собой плоскую пластину, такая форма обусловлена тем, что для золь-гель синтеза были выбран гидрофобный агент – ДМДЭС, в структуре которого находятся две негидролизующиеся связи Si-C.

Согласно полученным результатам, такая кремнийорганическая золь-гель матрица с соотношением ТЭОС и ДМДЭС 50/50 подходит для иммобилизации клеток. Она защищает инкапсулированный биоматериал от вредных факторов окружающей среды, таких как УФ-излучение и микробные атаки, а также матрица позволяет свободно переносить субстраты и молекулы продуктов реакции через поры. Клетки, встроенные в матрицу геля, являются стабильными «живыми» материалами, которые могут быть использованы как перспективные биокатализаторы при создании биосенсоров для анализа сточных вод.

Библиографический список

1. Gyanaranjan J., Kasturi D., Achlesh D. Surfactants in water and wastewater (grey-water): Environmental toxicity and treatment options // Journal of Chemosphere. 2023. Vol. 341. P. 3. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.140082
2. Петрище Ф. А., Мальцева М. Н. Синтетические моющие средства: потребительские свойства, нормирование, безопасность и эффективность использования. М. - Вологда : Изд-во «Дашков и К», 2014. 54 с.
3. «3-in-1» Hybrid biocatalysts: association of yeast cells immobilized in a sol-gel matrix for determining sewage pollution / O. A. Kamanina, E. A. Lantsova, P. V. Rybochkin, V. A. Arlyarov, E. A. Saverina, N. S. Kulikovskaya, A. M. Perepukhov, A. N. Vereshchagin, V. P. Ananikov // ACS Applied Materials & Interfaces. 2023. Vol. 15. No. 40. P. 47779–47789.
4. Определитель бактерий Берджи. Т. 1. пер. с англ. / под ред. акад. РАН Г. А. Заварзина. М. : Мир, 1997. 96 с.

МОНИТОРИНГ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

*В. Н. Пыстин, А. Д. Волкова, И. В. Панфилова, Г. А. Шушанян,
О. В. Тупицына*

*Самарский государственный технический университет,
volkovaa1011@mail.ru*

В статье отражена проблема проведения мониторинговых исследований для объектов, находящихся в изменяющихся гидрогеологических условиях, в зоне влияния крупных предприятий промышленного производства и в нестационарных гидрологических условиях. В качестве природно-техногенной системы в настоящей статье выступает нефтебаза, расположенная в ареале влияния крупного нефтеперерабатывающего завода.

Ключевые слова: мониторинг, природно-техногенные системы, гидрогеологические условия, режимно-мониторинговые скважины.

В настоящее время основные требования обеспечения экологической безопасности объектов хозяйственной деятельности предполагают проведение мониторинга компонентов окружающей среды: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, если они расположены в зоне влияния объекта, геологические элементы и почвенная среда [1].

Особый интерес представляют природно-техногенные системы, трансформированные в результате хозяйственной деятельности в течении длительного периода эксплуатации объектов. Наиболее распространёнными видами подобных объектов выступают сырьевые парки, нефтегазоперекачивающие установки, нефтеперерабатывающие заводы [2].

Для крупных нефтеперерабатывающих предприятий и нефтехимических компаний система экологического мониторинга реализуется в рамках обеспечения экологической безопасности для всех компонентов среды, но для небольших установок, таких как, например, нефтегазодобывающие или нефтегазоперекачивающие устройства, сырьевые парки, которые являются аккумуляторами технологических цепочек между предприятием и последующими потребителями, в настоящее время данные вопросы рассмотрены исключительно фрагментарно. Как правило, рассматриваются системы организации локально-мониторинговых наблюдений, при этом не оцениваются динамические изменения качества компонентов сред, а также прогностическая способность моделей, доступных к применению для данных целей [3].

Существует общий принципиальный подход к разработке систем мониторинга как для контроля качества компонентов окружающей среды, так и ведения хозяйственной деятельности в рамках ПЭК [4].

Принцип расположения режимно-наблюдательных скважин для таких объектов определен [5], но не учитывает специфику объектов исследования,

находящихся в изменяющихся гидрогеологических условиях или в зоне влияния крупных предприятий промышленного производства, а также в нестационарных гидрологических условиях.

В связи с этим особый интерес представляет система разработки мониторинговых наблюдательных скважин для единовременного комплексного контроля качества подземных вод и геологической среды с целью прогноза их изменения в условиях динамически изменяющихся природно-техногенных систем [6].

В данном случае природно-техногенной системой является геосреда с прилегающим гидрогеологическими элементами и техногенная залежь, которая образовалась на объекте в результате хозяйственной деятельности.

Типичным объектом природно-техногенной системы может выступать нефтебаза, расположенная в ареале влияния крупного нефтеперерабатывающего завода. Мониторинг геосреды в настоящее время не осуществляется [7].

В докладе представлены основные результаты исследования природно-техногенной системы, как бинарных элементов в совокупности техногенной залежи геосреды на выделенном участке территории.

Приоритетными загрязнителями почв и геологической среды, а также подземных и поверхностных вод на объекте исследования вследствие работы нефтеперерабатывающего завода являются нефтепродукты.

Целью проведения работ на территории объекта является оценка загрязнения нефтепродуктами грунтов по периметру резервуаров хранения нефти.

Для оценки качества поверхностного слоя грунтов были отобраны пробы с глубины 0–0,1 м в местах заложения инженерно-геологических скважин. Из инженерно-геологических скважин пробы отбирались через каждый метр с целью установления глубинного распространения нефтепродуктов.

Качество грунта оценивалось в соответствии с региональным нормативом. В соответствии с региональным нормативом допустимая концентрация нефтепродуктов на территориях нефтехранилищ составляет 2000 мг/кг. Результаты количественного химического анализа грунтов представлены в таблице.

Таблица

Результаты анализа грунтов из инженерно-геологических скважин

Глубина, м	Концентрация нефтепродуктов, мг/кг											
	Скв.1	Скв.2	Скв.3	Скв.4	Скв.5	Скв.6	Скв.7	Скв.8	Скв.9	Скв.10	Скв.11	Скв.12
0,0-0,1	410	2370	197	1900	980	258	1860	840	670	178	31	234
1	306	8900	5400	4900	5300	301	5500	3430	62	133	159	1400
2	293	6500	3500	3200	5200	2380	9300	9800	53	205	174	6200
3	329	4200	480	2700	6800	2400	4900	5900	2550	54	2140	7500
4	410	3100	300	1900	1500	3250	8500	8600	1860	87	3450	6300
5	281	2400	600	1620	550	460	1630	3280	1720	310	8600	1780
6	–	–	–	–	–	–	–	–	122	–	1800	1060

По результатам лабораторных исследований грунтов установлены пробы, концентрация нефтепродуктов в которых превышает допустимую концентрацию 2000 мг/кг. Загрязнение нефтепродуктами зафиксировано в скважинах № 2–9, 11, 12 и распространено на глубинах 2–5 м. Загрязнение на глубинах 6 метров уменьшается, что подтверждено анализом проб в скважинах № 9, 11, 12. Уровень загрязнения не превышает 1%.

Объем загрязненных грунтов составляет 17383 м³. Данные грунты при экскавации, согласно Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО), будут относиться к отходам IV класса опасности – 9 31 100 03 39 4 «грунт, загрязненный нефтью или нефтепродуктами» (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15%).

Максимальный выявленный уровень загрязнения грунта нефтепродуктами составил 1%, средний – 0,5%, что в 2,5 раза превышает максимально допустимый уровень загрязнения. Выявленное загрязнение на территории может быть связано со следующими факторами.

1. Продолжительный период эксплуатации (с 30-х годов XX века) за который сформировалось устойчивое загрязнение нефтепродуктами на территории нефтебазы в результате утечек и проливов.

2. Общий техногенный фон на рассматриваемой территории, обусловленный эксплуатацией нефтеперерабатывающих заводов, в результате чего на их собственной и прилегающей территории произошло загрязнение нефтепродуктами водоносного четвертичного аллювиального комплекса и сформированы подземные техногенные залежи нефтепродуктов.

3. Присутствие на участке локального не выявленного геологическими выработками сильного загрязнения, обусловленного наличием линз нефтепродукта, что подтверждается поверхностным загрязнением в районе скважины № 7. Наличие подобных образований в толще грунтов будет оказывать негативное воздействие, связанное с вымыванием углеводородов на прилегающие участки и препятствовать процессам их самоочищения.

Библиографический список

1. Губарь Е. В., Тупицына О. В. Нефтегазовые месторождения как объекты технологического нормирования. Многопараметрический подход // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология : материалы междунар. науч. конф. Белгород : Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова, 2022. С. 456–460.

2. Тупицына О. В. Оценка и восстановление природно-техногенных систем, нарушенных строительной-хозяйственной деятельностью : дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.36. М., 2014. 323 с.

3. Петренко Е. Н. Комплексная экологическая система оценки и ликвидации техногенных залежей углеводородов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 1.5.15. Самара, 2022. 25 с.

4. Приказ Минприроды России от 18.02.2022 № 109 «Об утверждении требований к содержанию программы производственного экологического контроля, порядка и сроков

представления отчета об организации и о результатах осуществления производственного экологического контроля». 2022.

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 06.06.2013 № 477 «Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды». 2013.

6. Особенности залежей углеводородов как природно-техногенных систем / К. Л. Чертес, Е. Н. Петренко, В. Н. Пыстин, Д. Н. Шерстобитов, О. В. Тупицына // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология : материалы международного науч. конф. Белгород : БГТУ имени В. Г. Шухова, 2022. С. 369–373.

7. Чертес К. Л., Тупицына О. В., Петренко Е. Н. Система оценки и охраны компонентов геосреды от техногенных воздействий залежей углеводородов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2023. № 1. С. 87–94.

ГИС-ФИТОИНДИКАЦИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ФАКТОРОВ ВОЙНЫ: ПОЛЕМОСТРЕСС В ДОНБАССЕ

Е. А. Гермонова¹, А. И. Сафонов²

¹ *Донецкий национальный технический университет, germonova@mail.ru*

² *Донецкий государственный университет, andrey_safonov@mail.ru*

На основании данных фитоиндикационного значения в Донбассе (2017–2022 гг.) были построены картографические модели, позволяющие выделить специфику трансформации природно-территориальных комплексов в условиях активных боевых действий и сопряженных территориях. Для территориального сравнения фактора неблагоприятного воздействия в результате милитаризации региона на всей территории Центрального Донбасса были проведены мониторинговые исследования.

Ключевые слова: ГИС, картографические методы, фитоиндикация, Донбасс, экологический мониторинг, биодиагностика.

Все формы мониторинга открытых ландшафтных систем обязательным образом имеют продуктом своего целевого назначения картографический или визуально-графический материал, позволяющий ранжировать большие территории на области благоприятного или неблагоприятного существования [1]. Усиленная форма ведения активных военных действий на территории Центрального Донбасса с 2022 г. дала новый толчок в трансформации экосистем, что в определенной степени отразилось на показателях фитоиндикационного значения [2–4].

Цель работы – на основании геоинформационного анализа фитоиндикационных данных для территории Донбасса выделить определяющее значение фактора полемостресса (военных действий) по наиболее зависимым в токсикологическом отношении показателям структурной ботаники в регионе.

За годы военного конфликта на Донбассе была отработана авторская методика визуализации данных для экологического мониторинга по фитоин-

дикационным параметрам [5, 6], построены отдельные ГИС-модели для характеристики природных и антропогенно трансформированных природных сред [7, 8], собран первичный материал для обоснования фактора полемостресса [9] в перспективе на сопряжение данных по результатам космического мониторинга [10].

При анализе растительного материала, собранного по линиям градиента промышленного загрязнения и (или) антропогенной трансформации, выделены группы систематизации данных по следующим критериям: 1) геохимический контраст, физическая трансформация поверхностного почвенного горизонта, фитоценотические показатели устойчивости систем по сомкнутости и полнотенности микросообществ фитогенного поля; 2) зонирование территории по неблагоприятным факторам, причинам угнетения жизненных процессов растений; 3) подбор способов и методических приемов для картографической визуализации тех процессов, которые нуждаются в демонстрационном опыте для принятия решений по оптимизации, устранению неблагоприятных воздействий, последствий на региональном уровне в системе муниципальных служб. Отдельный блок экспериментов касался наблюдений за сукцессионными процессами в местах механических нарушений (рис. 1) и отбора почвенных образцов для лабораторных экспертиз по фитотестированию – установления фитотоксичности по разнице реакции тест-культур на начальных стадиях проращивания материалов, что также использовано для расчета индекса ТТ (общей фитотератогенности территории) (рис. 2, 3).



Рис. 1. Места отбора проб и формирования учетных площадок при глубинных разрывах (А, Б) и поверхностных взрывах (В, Г)

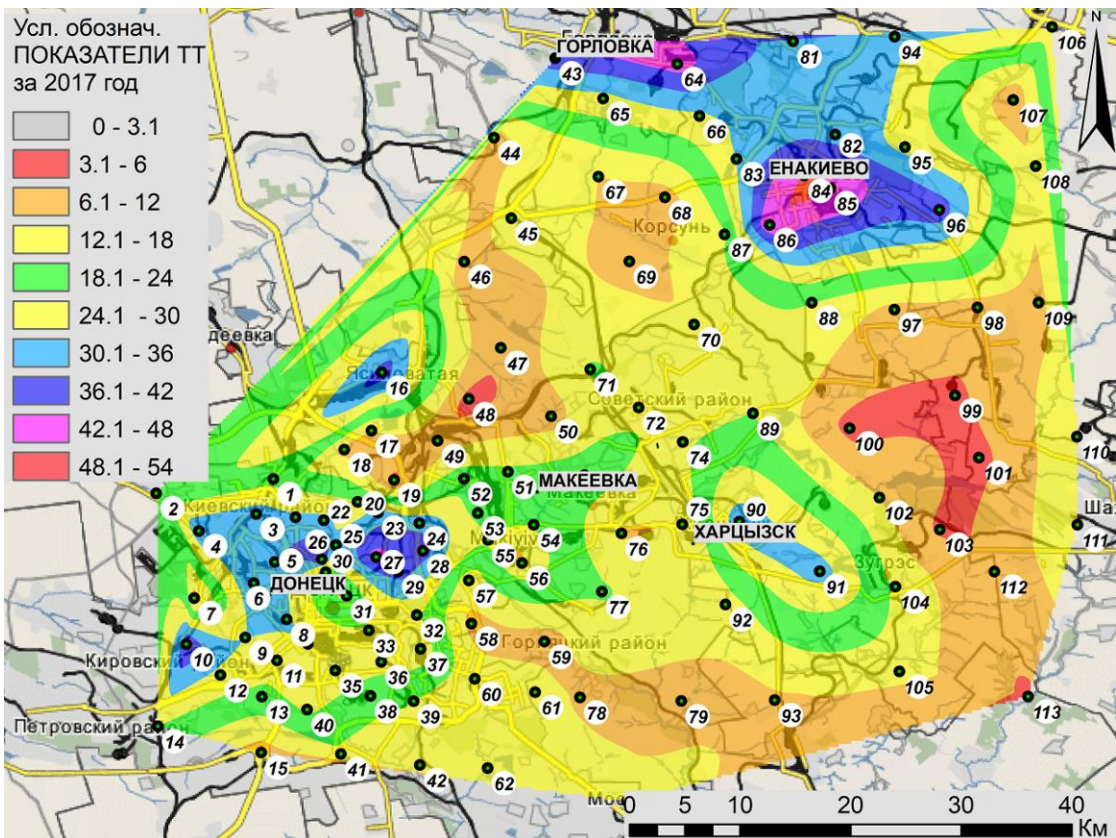


Рис. 2. Распределение показателя территориальной фитотератогенности (ТТ) в Центральном Донбассе, 2017 г.

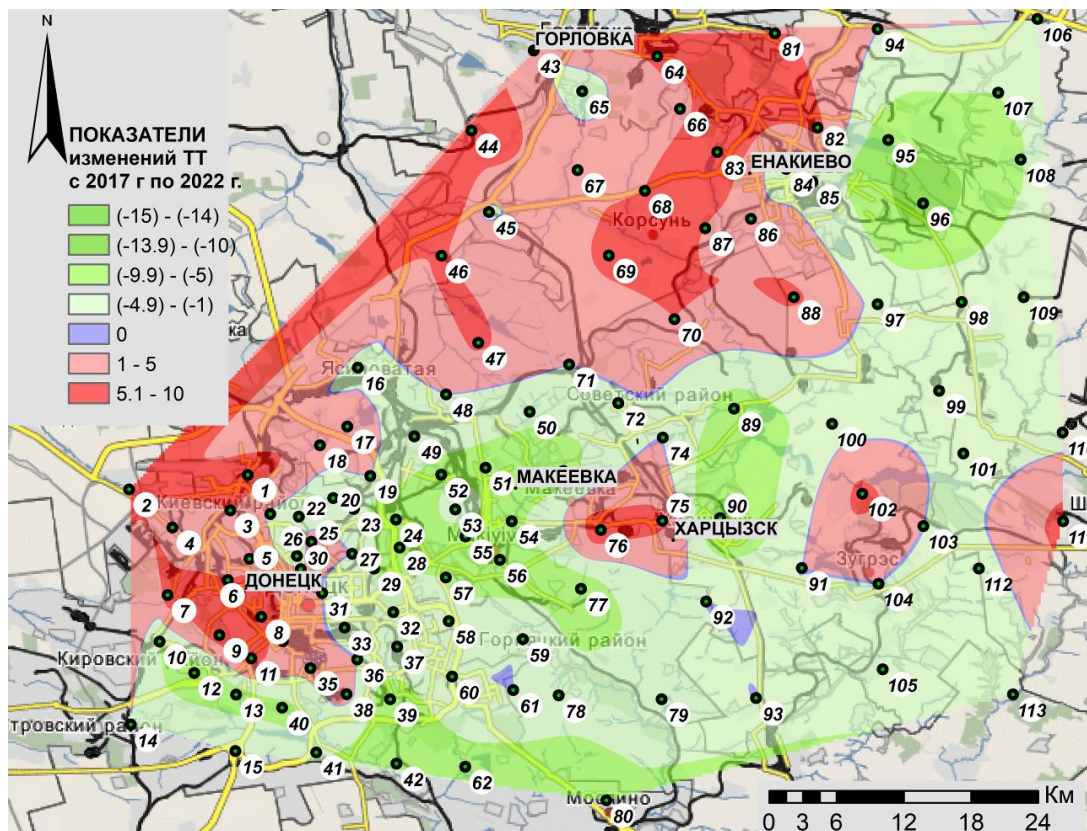


Рис. 3. Динамика распределения показателя территориальной фитотератогенности в Центральном Донбассе, 2017–2022 гг.

В геоинформационном блоке построения модели был предложен пакет авторских разработок ArcView 10.4, который консолидирует данные по 113 точкам мониторинга в центральном Донбассе таким образом, что ГИС-поле представлено в итоге арифметическими средними между учетными площадками в количестве более 3 млн значений, что позволяет ранжировать природно-территориальные комплексы с точностью до 1–5 м геолокалитета. Базовая конструкция моделируемого территориального каркаса по механизму соответствия данным топографических карт с масштабами 1:10000 и 1:100000 описана в предыдущих публикациях [2, 3, 6]. Это принципиально важно для точного изображения в картографических данных. Система координат WGS 84 Web Mercator и блоки системы Spatial Analyst, 3-D Analyst являются общедоступным ресурсом для пользования. Картографический материал по растениям-индикаторам был подготовлен в соответствии с требованиями доступности визуализации, в том числе по факторам риска, неблагоприятных ситуаций, вопросов чрезмерного или запредельного воздействия на растительные системы. Пороговые значения техногенной трансформации установлены эмпирически, что укладывается в диапазоны варьирования определенных значений всего спектра фактора полемостресса.

Пространственно-территориальное концентрирование высоких показателей общей тератогенности растений в конкретных учетных площадках (рис. 2) сопряжено с местами прямого импакта промышленных объектов, передвижных систем загрязнения, которые существенно увеличиваются при механохимическом воздействии процесса ведения боевых действий в регионе. Результаты варьирования общего показателя атипичности в строении растительных объектов для картографической модели представлены в 10-интервальном значении всего диапазона варьирования суммационного критерия неблагоприятных условий для индикаторных видов.

Полученный геофиксированный продукт при сравнении 5- и 10-летних сукцессий меняется, как правило, в 90% и более точках всего информационного поля. В 50% и более случаев измененные значения характеризуются переходом в соседний интервал, в остальных примерах (до 30% точек всей территории) – более чем одно интервальное значение, что зафиксировано в 5-летней разнице показателей динамического ряда.

Таким образом, фиксируемые в период до начала специальной военной операции структурно-функциональные нормы растений-индикаторов в природных средах по отдельным значимым признакам существенно отличаются от показателей в условиях активных боевых действий. Тератоморфы в своем количественном учете достоверно повышают уровень общей гетерогенности в строении растительного материала при условии неблагоприятных факторов воздействия. Такие статистические данные использованы в фитоквантификационном и мониторинговом эксперименте.

Проведенные исследования доказывают наличие в Донбассе двух разнонаправленных тенденций частно-локальной антропогенной нагрузки: 1) негативный процесс по увеличению тератогенного полиморфизма растений

по трансекте военной конфронтации; 2) эффект возвратной оптимизации индикаторных признаков структурно-функционального содержания в условиях временной заморозки или стагнации работы промышленных предприятий.

На основании большего трансформирующего эффекта в отдельных признаках генеративных структур сделано предположение о возможности формирования условий индуцирования генных модификаций, ускоряемых за счет неблагоприятных воздействий среды, факторов полемостресса. Эти закономерности позволяют констатировать интенсификацию нормальной скорости эволюционного процесса аборигенных видов в критических для выживания условиях. Выделены некоторые признаки в строении растений-индикаторов, сопряженные с неблагоприятной тенденцией милитаризации региона Донбасса, тератоморфы растений являются критерием антропоустойчивости, идентифицированы как варианты адаптациогенеза некоторых видов к факторам полемостресса.

Работа выполнена без финансовой поддержки от сторонних организаций.

Библиографический список

1. Епринцев С. А., Клепиков О. В. Исследование экологической безопасности городской среды по данным дистанционного мониторинга // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2022. № 4. С. 102–110. doi: 10.17308/geo/1609-0683/2022/4/102-110
2. Гермонова Е. А., Сафонов А. И. Геоинформационная визуализация данных по атипичному морфогенезу растений экотопов Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 1–2. С. 13–22.
3. Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Оценка геосистем Донбасса: фитоиндикация тератогенности и картографический анализ // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2023. № 1. С. 98–104.
4. Safonov A. Indicator plants of anthropogenic disturbances: Scientific approach, educational technologies // E3S Web Conf. 2023. 431. 01031. doi: 10.1051/e3sconf/202343101031
5. Калинина А. В., Гермонова Е. А. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34.
6. Гермонова Е. А., Сафонов А. И. Анализ ботанико-экологической информации по геолокации в промышленном Донбассе // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Донецк : ДонНУ, 2019. С. 202–204.
7. Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Комплексный показатель нарушенности экотопов по фитоиндикационному критерию в г. Донецке // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2019. № 3–4. С. 171–175.
8. Сафонов А. И., Глухов А. З. Экологический фитомониторинг в Донбассе с использованием геостратегического картографирования // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов. Кемерово: ФИЦ УУ СОРАН, 2021. С. 77–79. doi: 10.53650/9785902305606_77
9. Safonov A. I. Plants under industrial and military stress (polemostress) // Practice Oriented Science: UAE - RUSSIA - INDIA: Proceedings of the International University Scientific Forum, UAE. 2023. P. 64–72. doi: 10.34660/INF.2023.25.85.227

10. Шестафин Н. С. Перспективы использования данных космического мониторинга для оценки экологических последствий военных действий и чрезвычайных ситуаций на территориях Донбасса и сопредельных регионов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М. : ИКИ РАН, 2022. С. 122.

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ВОЛГО-МЕШИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ НА ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНОГО КАРТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

А. В. Кузнецова¹, И. И. Зиганшин^{1,2}

¹ *Казанский (Приволжский) федеральный университет,
kuznetsovanastya01@mail.ru,*

² *Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, irek_ziganshin@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования антропогенного преобразования территории Волго-Мешинского возвышенного ландшафтного района (Республика Татарстан) на основе ретроспективного картографического анализа. Показано значительное увеличение площади селитебных территорий и густоты дорожной сети на территории всех сельских поселений района.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, селитебные территории, природные комплексы, Волго-Мешинское междуречье, Республика Татарстан.

Волго-Мешинский возвышенный ландшафтный район находится на востоке Восточно-Европейской равнины, на территории Республики Татарстан (рис. 1). Согласно физико-географическому районированию республики, район относится к Западному Предкамью [1, 2]. Площадь ландшафтного района – 835 км². Протяженность с севера на юг – 56 км, с востока на запад – 30 км. Район тянется вдоль левого берега реки Волги от г. Казани на севере, до с. Атабаево на юге до места слияния двух крупных рек Европейской части России – Камы и Волги. На западе границей служит берег Волги, на востоке – долина р. Меши [3]. Административно рассматриваемый ландшафтный район включает в себя 16 сельских поселений в пределах Лаишевского и Пестречинского муниципального районов Республики Татарстан.

Антропогенное воздействие на природные системы обеспечивается, в первую очередь, со стороны селитьбы и сельскохозяйственной деятельности. Главным фактором антропогенной нагрузки на озера изучаемого района является активная застройка территории. В пригородных по отношению к г. Казань Лаишевском и Пестречинском муниципальных районах хорошо развита инфраструктура, строится большое количество многоквартирного и частного жилья. Почти 20% территории района занято землями населенных пунктов, площадь которых изменяется от 8,4% на юге до 35% на севере. Сильные селитебные нагрузки связаны также с расположенными на севере

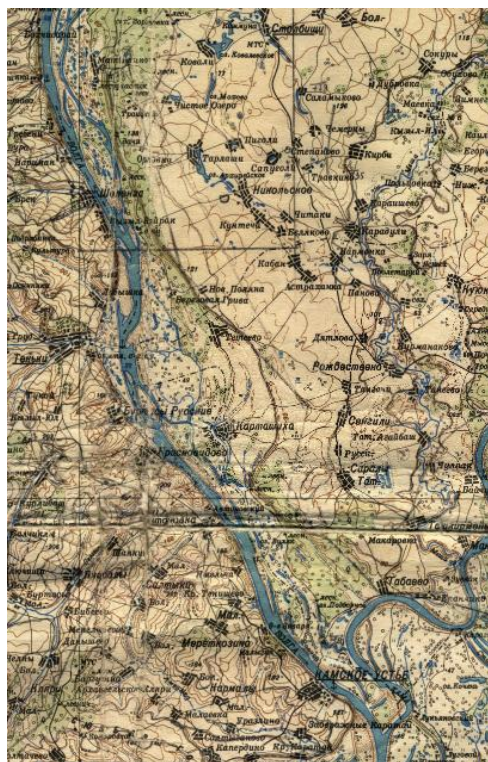
пригородами Казани. Почти половина территории ландшафтного района распахана, под пашни занято 44,3% территории. К основным видам антропогенной нагрузки на природные комплексы района также следует отнести добычу полезных ископаемых, прежде всего карьерного песка и кирпичных глин, которые широко используются в строительстве, в т. ч. для производства кирпича и силикатных изделий.



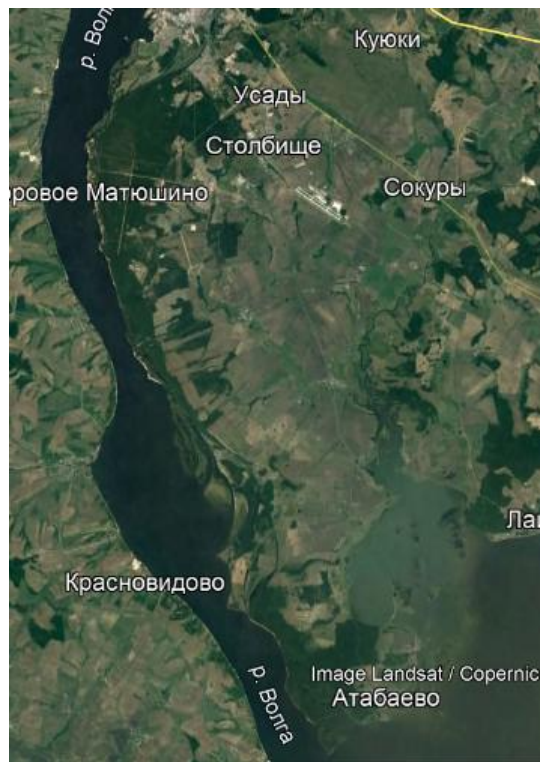
Рис. 1. Географическое положение Волго-Мешинского междуречья

Одним из основных факторов антропогенного изменения природных комплексов района является создание Куйбышевского водохранилища в 1957 г., в результате которого значительно поднялся уровень воды, приведший к затоплению прилегающих территорий. Была затоплена водами «Куйбышевского моря» плодородная пойма рек Волги и Камы, включая сенокосы и многочисленные старичные озера (рис. 2).

Антропогенное воздействие на природно-территориальные комплексы в ландшафтном районе оценивается как среднее, местами возрастая до очень сильного, или наоборот, до очень слабого. Очень сильное воздействие характерно для северных районов, где расположен город Казань с пригородами. Относительно слабое характерно для южных районов, где располагается Саралинский участок Волжско-Камского биосферного заповедника [4].



а



б

Рис. 2. Пойма р. Волга в 1939 г. (а) и 2022 г. (б)

За последние 80 лет, естественные ландшафты Волго-Мешинского междуречья претерпели значительные изменения в связи с увеличением антропогенного воздействия. В регионе более чем в 7 раз увеличилась площадь, занятая населенными пунктами, а также на 3% выросла общая лесистость территорий. Для показателя лесистости территории ландшафтного района следует отметить пространственную неравномерность произошедших изменений: для большей части сельских поселений лесистость увеличилась, при этом для части из них – значительно. Только для пяти сельских поселений характерно уменьшение лесистости территории. При этом площадь селитебных территорий возросла во всех сельских поселениях региона без исключения, как и увеличилась густота дорожной сети (табл.).

Таблица

Динамика лесистости, площади селитебной территории, густоты дорожной сети и численности населения сельских поселений Волго-Мешинского междуречья с 1939 по 2022 гг.

Сельские поселения	Леса, %		Селитебные территории, %		Густота дорожной сети		Численность населения, чел	
	1939	2022	1939	2022	1939	2022	1949	2022
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Атабаевское	31,50	24,00	1,50	1,60	–	0,033	911	504
Макаровское	16,50	15,40	2,17	2,50	–	0,145	1055	601
Татаро-Саларовское	15,44	8,75	1,80	1,93	–	0,096	1371	299
Рождественское	1,11	6,92	1,56	10,89	0,095	0,152	2425	1249
Нармонское	2,30	6,55	1,22	8,90	0,067	0,165	3519	2529

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Никольское	6,88	14,05	2,64	18,83	0,026	0,182	4411	1640
Орловское	48,00	44,40	0,83	11,40	–	0,228	503	1125
Кирбинское	1	2,36	2,73	7,06	0,196	0,235	1583	867
Матюшинское	51,20	49,90	0,47	1,70	–	0,302	350	141
Габишевское	–	5,70	–	35,40	–	0,784	–*	3300
Песчано-Ковалинское	1,70	16,60	2,02	20,40	–	0,331	1003	2 139
Столбищенское	1,95	16,80	3,63	21,00	0,153	0,709	1804	15817
Большекабанское	2,22	3,15	2,99	17,45	–	0,162	1724	2550
Сокуровское	2,87	8,90	3,03	51,00	0,161	0,563	1152	2084
Богородское	1,70	6,80	6,58	25,89	0,037	0,250	758	3952
Кулаевское	7,50	11,88	1,10	5,47	0,113	0,244	1580	619

Примечание: * Габишевское сельское поселение было создано только в 1978 г.

Анализ динамики озерности показал, что в 1939 г. на территории ландшафтного района дешифрируется 178 озер (с общей площадью 1157,7 га). В 2022 г. уже отмечается 225 озер (с общей площадью 633,6 га). Несмотря на то, что количество озер увеличилось на 21%, суммарная площадь акватории озер сократилась более чем на 524 га. Как видно из рисунков 2, 3, увеличилось количество «озерков» с площадью водного зеркала от 0,1 до 1 га. Количество более крупных озер, с площадью водного зеркала от 1 до более 100 га, наоборот, уменьшилось.

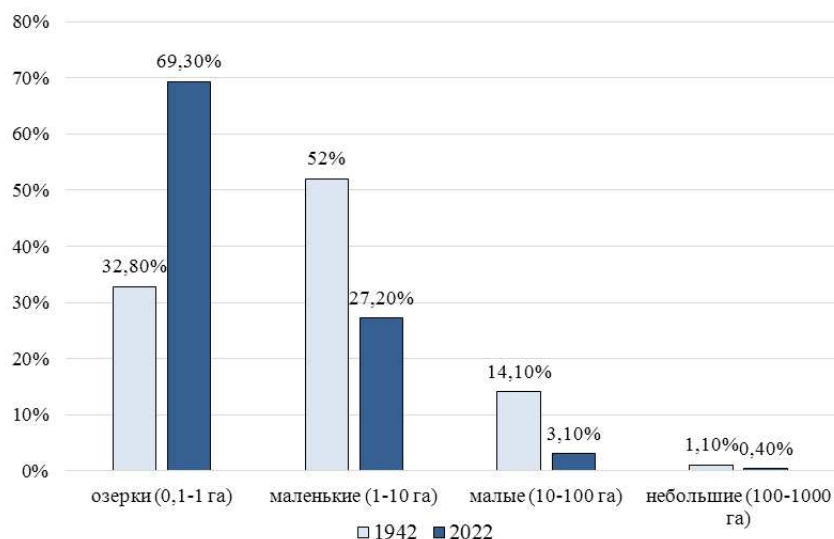


Рис. 3. Динамика изменения озер на территории Волго-Мешинского междуречья, %

Таким образом, можно резюмировать, что природные комплексы Волго-Мешинского междуречья подвергались в прошлом и подвергаются в настоящем значительному антропогенному воздействию. С его увеличением можно прогнозировать дальнейшую деградацию природных комплексов района.

Библиографический список

1. Мильков Ф. Н. Среднее Поволжье. М. : Изд-во АН СССР, 1953. С. 200.
2. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / под ред. А. В. Ступишина. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1964. С. 45–46.
3. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ / под ред. профессора О. П. Ермолаева. Казань : Слово, 2007. С. 113–125.
4. Антропогенные изменения системы процессов экзогенного рельефообразования в Среднем Поволжье / А. П. Дедков, Ф. Ф. Бойко, В. И. Мозжерин, Э. А. Часовникова // Рельеф и хозяйственная деятельность. М. : МФГО, 1982. С. 20–28.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЗАПОЛЯРЬЯ

Д. Н. Габов, М. И. Василевич, Е. В. Яковлева, Р. С. Василевич

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

Исследовано изменение качественного состава и количественного содержания 15 полициклических ароматических углеводородов в снежном покрове г. Воркуты в зоне влияния выбросов топливно-энергетического комплекса в 2017 и 2023 гг. при замене топлива для тепловых электростанций с каменного угля на природный газ.

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды, снежный покров, загрязнение, маркеры, электростанция.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются распространёнными полулетучими органическими соединениями с канцерогенными, мутагенными и токсичными для живых организмов свойствами [1]. Поэтому необходим постоянный мониторинг уровня ПАУ в окружающей среде для снижения риска воздействия на здоровье человека и загрязнения окружающей среды [2]. В последние годы опубликовано множество отчетов/обзорных статей, посвященных концентрациям, распределению и источникам ПАУ в талых водах/снежном покрове различных регионов и стран, однако российский арктический сектор остается малоизученным [3]. Неполное сгорание органических веществ ископаемого топлива (угля, нефти, газа, древесины и т.д.) является основным источником ПАУ [4], поэтому эти соединения вносят основной вклад в загрязнение воздуха в отопительный сезон. Полициклические ароматические углеводороды, поступающие в атмосферу в зимний период, в основном адсорбируются на аэрозольных частицах с размерами 0,1–3,0 мкм. Они способны длительное время находиться в воздухе и переноситься на большие расстояния. Выпадение частиц приводит к накоплению ПАУ в снежном покрове, а после таяния снега – в почве и водоемах [5],

где они сохраняются длительное время благодаря своим гидрофобным свойствам и высокой химической стабильности.

Цели настоящего исследования – изучить качественный и количественный состав ПАУ в снежном покрове Воркутинской агломерации (Республика Коми) и оценить его изменение при смене вида топлива; сравнить уровни загрязнения ПАУ города и прилегающих территорий до и после масштабной реконструкции теплоэлектростанций (ТЭЦ); выявить дополнительные источники загрязнения ПАУ.

Воркута – угледобывающий город в Республике Коми (Россия), один из крупнейших городов, расположенных к северу от Полярного круга. Климат Воркуты арктический, с коротким прохладным летом и очень холодной и сухой зимой. Средняя температура января составляет около $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, июля – около $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$. В районе Воркуты отрицательные температуры (и сроки отопительного сезона) сохраняются в течение 7–8 месяцев в году. Тепловые электростанции входят в Группу компаний «Т Плюс» и обеспечивают теплом и горячей водой г. Воркуту и пригородные поселки, а также поставляют электроэнергию в Воркутинскую и, частично, в Интинскую энергосистему. В 2017 г. основным видом топлива для ТЭЦ являлся воркутинский каменный уголь, а для центральной водогрейной котельной (ЦВК) – мазут. Поэтому их аэрозольные выбросы вносили существенный вклад в загрязнение города и его окрестностей. С 2020 г. Группа «Т Плюс» реализовала в Воркуте программу масштабной реконструкции объектов энергоснабжения города и перевод их на природный газ. В 2020 г. Воркутинская ЦВК была переведена с мазута на природный газ, в 2021 г. была газифицирована угольная ТЭЦ-2. После завершения газификации основных энергоисточников города в 2022 г. угольная ТЭЦ-1 была остановлена.

Отбор проб проводился в 2017 и 2023 гг. на ненарушенных площадках (рис. 1).

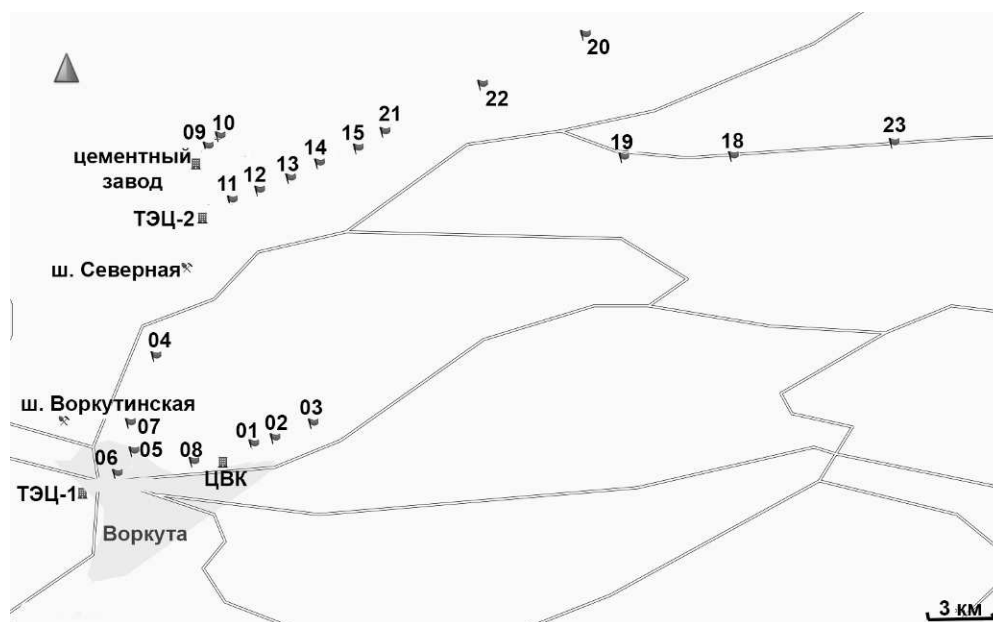


Рис. 1. Точки отбора проб снежного покрова

Пробы общей массой 3–5 кг отбирали со всей глубины снежного покрова при помощи специальной трубы. Химические анализы проводили в Центре коллективного пользования «Хроматография» ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Как правило, около 80–90% ПАУ связаны с твердыми частицами в пробах снеготаяния, поэтому содержание ПАУ определяли как сумму содержания их в талой воде и твердом остатке в пробах после их фильтрации. Пробы снега плавили при комнатной температуре, затем талую воду фильтровали через мембранный фильтр. Полициклические ароматические углеводороды трижды экстрагировали из фильтров при 25 °С дихлорметаном при использовании ультразвуковой обработки, а из талой воды н-гексаном с помощью механического экстрактора. Экстракты объединяли и после очистки проводили анализ ПАУ на высокоэффективном жидкостном хроматографе «Маэстро-ВЭЖХ», оснащенном флуоресцентным и диодно-матричным детекторами.

Пересчитанные значения модулей поступления ПАУ на поверхность снега представлены на рисунке 2.

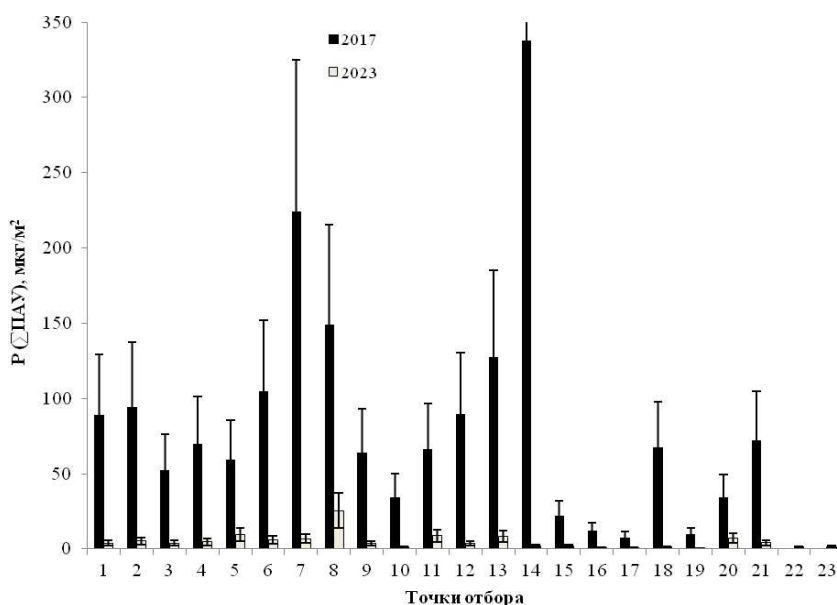


Рис. 2. Пространственное распределение ПАУ в снежном покрове, мкг/м²

В результате интенсивного сжигания каменного угля и мазута во время отопительного сезона 2016–2017 гг. образовалось большое количество летучей золы и несгоревших частиц, которые могут содержать высокие концентрации ПАУ. Суммарные количества ПАУ на наиболее удаленных условно фоновых точках 16 и 17 составили 8–12 мкг/м², в зоне ТЭЦ-1 и Воркуты уровень ПАУ возрастает до 150–220 мкг/м² (т. 7, 8), в зоне ТЭЦ-2 (т. 13, 14, до 3 км к северо-западу от ТЭЦ-2) – 127–338 мкг/м². Низкомолекулярные (НМ) ПАУ присутствуют практически на всех исследуемых участках. Максимальные уровни наблюдаются в отдельных зонах влияния ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ЦВК и жилых районах. В центральной и северной частях Воркуты (т. 7, 8), в промышленной зоне в 3 км от ТЭЦ-2 (т. 14) отмечены максимальные concentra-

ции НМ ПАУ в снеге. Они подвержены дальнему переносу как с аэрозолями воздуха, адсорбируясь на мелких частицах пыли, так и в газовой фазе из-за высокой летучести, и присутствуют в снеге даже на расстоянии 24,6 км (т. 16). Начиная с точки 3 на окраине города, содержание указанных компонентов возрастает по направлению к городской черте и ЦВК, достигая максимума на точке 8. В северном направлении количество этих компонентов также увеличивается от ТЭЦ-1 до точки 7 и уменьшается на расстоянии 1,5 км от города (т. 4). Следует отметить, что в 2017 г. точка 7 находилась в зоне влияния ТЭЦ-1, выбросов угольной пыли шахты «Воркутинская» и транспортного потока с урбанизированной территории. На точках 9 и 10 в районе цементного завода, который с 2016 г. не работает, количество НМ ПАУ находится на уровне пригородных районов Воркуты. В зоне влияния ТЭЦ-2 доля наиболее летучих полиаренов существенно возрастает в северо-восточном направлении к точке 14 (максимум) и превышает максимальные уровни в черте города в 2–2,5 раза.

Высокомолекулярные (ВМ) ПАУ обнаруживаются в городской черте и в зонах влияния двух ТЭЦ, включая локальные максимумы загрязнения от ТЭЦ-2 на точках 11, 14 и 18. На удаленных точках 16–20 они присутствуют в очень низких концентрациях, т. е. не подвержены переносу на расстояния более 11,2 км. Область повышенного накопления ВМ ПАУ находится в пределах 3 км от ТЭЦ-2. Это может быть связано с их концентрацией в более крупных частицах, оседающих вблизи источников выбросов.

После перевода объектов ТЭК г. Воркуты на природный газ суммарное содержание ПАУ в 2023 г. на наиболее удаленных условных фоновых точках 16 и 17 составило 0,6–0,8 мкг/м², в зоне ТЭЦ-1 и г. Воркуты ПАУ увеличиваются до 3,9–25,6 мкг/м² (т. 1–8), в зоне ТЭЦ-2 (т. 9–15) 1,3–8,9 мкг/м². Низкомолекулярные ПАУ локализованы в отдельных районах Воркутинской агломерации, причем максимальные концентрации в снеге наблюдаются в промышленной зоне на расстоянии 0,5–3 км от ТЭЦ-2 (т. 11–13). Они также переносятся на большие расстояния как в виде пылевых частиц, так и в газовой фазе. Их распределение формирует локальный максимум к северу от ТЭЦ-2 на расстоянии 5–11 км (т. 21, 22, 20) и к востоку на расстоянии 15 км (т. 23). В городской зоне выпадения НМ ПАУ незначительны по сравнению с 2017 г. Максимум также отмечается в центре города (т. 8). В 2023 г. абсолютное количество 4-ядерных ПАУ в снеге несколько снижается по сравнению с 2017 г., однако их относительная доля в общем количестве ПАУ значительно возрастает. Наибольшее количество этих соединений наблюдается в городской зоне (т. 1–8). В зоне воздействия ТЭЦ-2 наблюдаются закономерности, аналогичные НМ ПАУ. Однако модуль поступления ПАУ в промышленной зоне ниже, чем в городской черте Воркуты.

Накопление ВМ ПАУ в снежном покрове Воркутинской агломерации в 2023 г. составляет от 0,03 до 8,12 мкг/м². Однако их относительная доля в общем количестве ПАУ существенно возрастает (7–34%). Это справедливо как для удаленных, так и для городских и промышленных районов. Накопле-

ние ВМ ПАУ было наибольшим в городских районах (т. 5, 8) за счет выбросов автотранспорта. В пригородных районах (т. 1–4) оно составляло 0,7–1,1 мкг/м². Высокомолекулярные ПАУ накапливаются вблизи зоны воздействия ТЭЦ-2 на расстоянии 0,5–3 км от ТЭЦ-2 (т. 11–13) и переносятся на большие расстояния с воздушными аэрозолями, образуя локальные максимумы к северо-западу от ТЭЦ-2 на расстоянии 5, 11 км (т. 21, 20). В 8 км к северо-востоку от ТЭЦ-2 (т. 22) и в 9–24,6 км к востоку от ТЭЦ-2 ВМ ПАУ практически не накапливаются.

В соответствии с расположением мест отбора проб региональные диагностические коэффициенты для Воркутинской агломерации представлены в таблице. Данные получены как средние значения по трем источникам образования ПАУ – сжигание угля/мазута (все точки 2017 г.), автомобильный трафик (т. 1–8, 2023 г.), сжигание природного газа (т. 9–23, 2023 г.). Эти практические соотношения изомеров могут быть использованы для будущего мониторинга выбросов объектов энергетики в арктических и субарктических районах.

Таблица

Диагностические соотношения ПАУ (средние значения)

Диагностическое соотношение	Сжигание каменного угля/мазута ($n = 21$)	Выбросы автотранспорта ($n = 8$)	Сжигание природного газа ($n = 15$)
Антрацен / (Антрацен + Фенантрен)	0,07	0,10	0,13
Флуорантен / (Флуорантен + Пирен)	0,50	0,64	0,46
Бензо(а)антрацен / (Бензо(а)антрацен + Хризен)	0,29	0,49	0,52
Бензо(б)флуорантен / (Бензо(б)флуорантен + Бензо(к)флуорантен)	0,79	0,69	0,75
НМ ПАУ / ВМ ПАУ	9,39	0,46	1,67

Таким образом, реконструкция тепловых электростанций с переходом на использование природного газа вместо угля привела к значительному снижению уровня ПАУ, поступающих в тундровые экосистемы. Наблюдается изменение состава ПАУ в выбросах от преобладания 2,3-ядерных ПАУ до значительного увеличения доли 4-ядерных ПАУ. Анализ соотношений ПАУ позволил выделить ряд ярко выраженных территориальных групп, что позволило разделить ПАУ в снежном покрове, поступающих из различных источников: выбросов автотранспорта, сжигания угля и природного газа. Была установлена статистическая связь между накоплением ПАУ и поступлением твердых частиц в атмосферу от сжигания угля и выбросов автотранспорта. Индикаторные соотношения ПАУ в снежном покрове г. Воркуты свидетельствуют об их преимущественно пирогежном происхождении.

Библиографический список

1. Lung cancer risk assessment for workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons in various industries / P. Petit, A. Maître, R. Persoons, D. J. Bicot // *Environ. Int.* 2019. Vol. 124. P. 109–120. doi: 10.1016/j.envint.2018.12.058
2. Gupta A. D., Soni A., Gupta T. Synergistic cancer risk assessment from PM1 bound metals and PAHs in the Indo-Gangetic Region // *Sustainable Chemistry for the Environment*. 2023. Vol. 1. Article No. 100002. doi: 10.1016/j.scenv.2023.100002
3. Semi volatile organic compounds in the snow of Russian Arctic islands: Archipelago Novaya Zemlya / A. T. Lebedev, D. M. Mazur, O. V. Polyakova, D. S. Kosyakov, A. Yu. Kozhevnikov, T. B. Latkin, Yu. I. Andreeva, V. B. Artaev // *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 239. P. 416–427. doi: 10.1016/j.envpol.2018.03.009
4. Tsibart A. S., Gennadiev A. N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: Sources, behavior, and indication significance (a review) // *Eurasian Soil Sc.* 2013. Vol. 46. P. 728–741. doi: 10.1134/S1064229313070090
5. Characterizing the PAHs in surface waters and snow in the Athabasca region: Implications for identifying hydrological pathways of atmospheric deposition / S. J. Birks, S. Chob, E. Yi, Y. Taylor, J. J. Gibson // *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 603–604. P. 570–583. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.051

ОЦЕНКА УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДА КАЗАНИ ДИОКСИДОМ АЗОТА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ SENTINEL-5P

О. В. Никитин^{1,2}, *Р. С. Кузьмин*¹, *И. И. Вазиев*², *Э. И. Насырова*³,
В. З. Латыпова^{3,4}

¹ ООО «Экоаудит», *olnova@mail.ru*,

² Центр детского творчества «Танкодром»,

³ Казанский (Приволжский) федеральный университет,

⁴ Институт проблем экологии и недропользования АН РТ

Одним из оперативных способов осуществления экологического мониторинга атмосферного воздуха является спутниковое зондирование. В рамках данной работы проведена оценка содержания диоксида азота в тропосфере на территории города Казани в 2018–2023 гг. по данным съемки сенсора TROPOMI космического аппарата Sentinel-5P. Доступ к данным и основные операции осуществлялись с помощью облачной платформы Google Earth Engine.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, диоксид азота, экологический мониторинг, дистанционное зондирование Земли, TROPOMI, Sentinel-5P.

Загрязнение атмосферного воздуха является одним из основных факторов, оказывающих негативное влияние на здоровье населения и окружающую среду, которое входит в число наиболее серьезных глобальных экологических проблем и ежегодно становится причиной смерти нескольких миллионов человек во всем мире [1]. По данным Роспотребнадзора, загрязнение атмосфер-

ного воздуха занимает лидирующее место в стране среди основных факторов риска здоровью населения, связанных с окружающей средой. В 2021 г. в 122 городах Российской Федерации, что составляет 53% городов, где проводятся наблюдения, уровень загрязнения атмосферного воздуха являлся высоким и очень высоким. Лишь в 27% городов уровень загрязнения остался низким. В городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха проживает 50,6 млн человек, что составляет 46% городского населения [2].

Актуальна эта проблема и для Республики Татарстан. В 2022 г. общее количество выбросов загрязняющих веществ предприятиями республики составило 319,9 тыс. т. Большая часть выбросов загрязняющих веществ приходится на крупные города: Казань, Набережные Челны, Нижнекамск, Альметьевск и Заинск (~58% населения региона), где сосредоточен основной промышленный потенциал республики. Среди загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с антропогенными выбросами от промышленности, электростанций и транспорта, оксиды азота относятся к наиболее важным. Они образуются в процессе сгорания органического топлива при высоких температурах в виде оксидов азота (NO_x), которые трансформируются в диоксид азота (NO_2). Согласно Государственному докладу [3] на них приходится 14% от суммы всех выбросов стационарными источниками.

Одним из оперативных способов осуществления экологического мониторинга атмосферного воздуха является спутниковое зондирование [4]. В рамках данной работы проведена оценка содержания диоксида азота в тропосфере на территории одного из крупнейших городов России – Казани – в 2020 и 2023 гг. при помощи сенсора TROPOMI (англ. *TROPospheric Monitoring Instrument*) аппарата Sentinel-5P Европейского космического агентства.

Доступ к спутниковым данным и основные операции осуществлялись с помощью облачной платформы Google Earth Engine (GEE). GEE использовалась для извлечения среднегодовых и месячных растров NO_2 . Данные по концентрации представлены как количество диоксида азота в мкмоль/м^2 вертикального столба тропосферного воздуха [5].

Для расширенной картографической визуализации данных (рис. 1, 2) и углубленной аналитической обработки, использовали программу QGIS 3.12. Геодезические координаты, были спроецированы в плоские прямоугольные координаты в универсальной поперечной проекции Меркатора на эллипсоиде WGS-84 (Universal Transverse Mercator (UTM), зона 39N). Координаты на картах представлены как геодезические (WGS-84, градусы и минуты северной широты и восточной долготы).

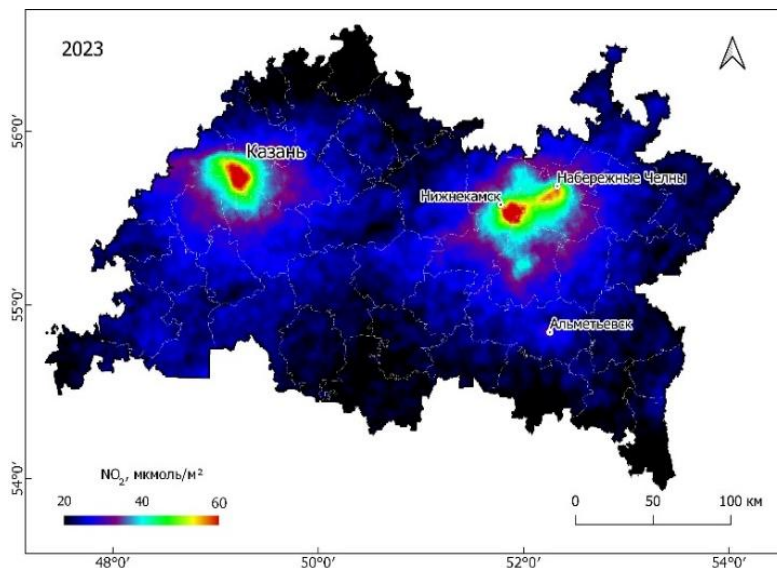


Рис. 1. Карта-схема с отображением усредненной концентрации диоксида азота в тропосфере на территории Республики Татарстан в 2023 г. по данным спутникового мониторинга



Рис. 2. Изолинии усредненных концентраций диоксида азота в тропосфере на карте-схеме территории г. Казани в 2020 и 2023 гг. по данным спутникового мониторинга

Для отображения тематических объектов (административные границы, леса, сельскохозяйственные угодья, водные объекты, автомобильные дороги) использовался набор слоев векторных данных OpenStreetMap (локализация NextGIS (Россия), лицензия на данные: ODbL).

Обработка полученных данных производилась при помощи программ Statistica 10.0 и MS Excel 2007. Данные представлены в виде среднего \pm стандартное отклонение.

Полученные карты-схемы усредненной концентрации диоксида азота в тропосфере на территории Республики Татарстан и г. Казани в 2018 и 2023 гг. (с января по октябрь) по данным спутникового мониторинга представлены на рисунках 1 и 2. Самые высокие значения концентраций NO_2 за выбранный период наблюдения отмечены для 2023 г. – в среднем содержание двуоксида азота на территории Казани составляло 49 ± 10 мкмоль/м². Самые высокие значения отмечены для центральной части города (Вахитовский район) – около 70 мкмоль/м². При этом в районе размещения таких крупных промышленных объектов как Казаньоргсинтез и Казанская ТЭЦ-3 концентрации составляли 50–55 мкмоль/м². Влияние от города (до ~ 40 мкмоль/м²) хорошо прослеживается по периметру города от Раифского участка Волжско-Камского биосферного заповедника на западе, вдоль федеральной трассы М-7 на севере и востоке, до района международного аэропорта «Казань» на юге.

Это отображают и построенные взаимно перпендикулярные профили концентраций NO_2 (рис. 3) с запада на восток и с юга на север через центральную часть города (55,79 с. ш., 49,12 в. д.).

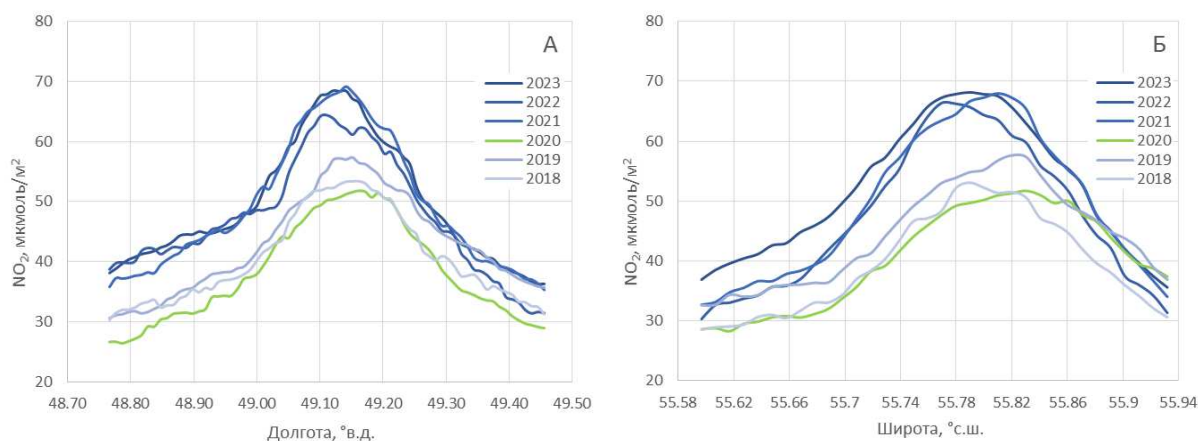


Рис. 3. Изолинии усредненных концентраций диоксида азота в тропосфере на территории города Казани в 2018–2023 гг. по данным спутникового мониторинга

При рассмотрении концентраций диоксида азота в многолетней динамике, хорошо заметна разница, связанная с режимом самоизоляции (локдаун) в 2020 г., вызванным пандемией COVID-19. За рассмотренный период времени, именно в этом году наблюдались наименьшие значения – 38 ± 8 мкмоль/м². Площади, ограниченные изолиниями концентраций на территории города, также существенно изменились (табл.).

Значения площадей Казанской агломерации, ограниченных изолиниями среднегодовых концентраций диоксида азота в 2020 и 2023 гг.

Значение изолинии, мкмоль/м ²	Площадь, тыс. км ²		Степень различия
	2020 год	2023 год	
30	1,5	4,2	-188%
35	0,7	2,1	-203%
40	0,4	1,1	-187%
45	0,2	0,6	-218%
50	0,1	0,3	-346%
55	–	0,2	–
60	–	0,1	–
65	–	0,04	–

Примечание: прочерки означают отсутствие данных в 2020 г., т. к. указанные концентрации не наблюдались.

Можно рекомендовать более активно использовать дистанционный спутниковый мониторинг в целях наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха, комплексной оценки и прогноза его состояния, а также обеспечения органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций и населения текущей и экстренной информацией о загрязнении атмосферного воздуха.

Библиографический список

1. Environmental and Health impacts of air pollution: a review / I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, E. Bezirtzoglou // *Frontiers in Public Health*. 2020. Vol. 8. doi: 10.3389/fpubh.2020.00014
2. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. М. : Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2022. 684 с.
3. О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2022 году. Государственный доклад. Казань : МЭПР РТ, 2023. 398 с.
4. Интегральная оценка качества атмосферного воздуха в крупнейших городах России на основе данных TROPOMI (Sentinel-5P) за 2019–2020 гг. / А. Э. Морозова, О. С. Сизов, П. О. Елагин, Н. А. Агзамов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022. Т. 19. № 4. С. 23–39.
5. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, R. Moore // *Remote Sensing of Environment*. 2017. Vol. 202. P. 18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА НА ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

А. В. Ланько

*Иркутский национальный исследовательский
технический университет, diplom-lav@ya.ru*

Статья посвящена исследованию зависимости высоты, показателей рН и электропроводности снежного покрова от изменения микрорельефа. Представлены разрезы по профилю, на которых показано влияние микрорельефа на параметры снежного покрова.

Ключевые слова: снежный покров, удельная электропроводность снежного покрова, рН снежного покрова, микрорельеф, высота снежного покрова.

Иркутск расположен в Восточной Сибири на берегах реки Ангары в непосредственной близости от водохранилища, образованного плотиной Иркутской ГЭС высотой до 56 м. Рельеф города пересечённый. Высота земли над уровнем моря составляет от 420 до 550 м. Рельеф в границах Иркутска сложный. В нем присутствуют горы, плоские возвышенности с волнисто-равнинными пологими водоразделами, пади, ложбины и понижения. Его можно характеризовать как среднегорный интенсивно расчлененный крутосклонный (рис. 1).

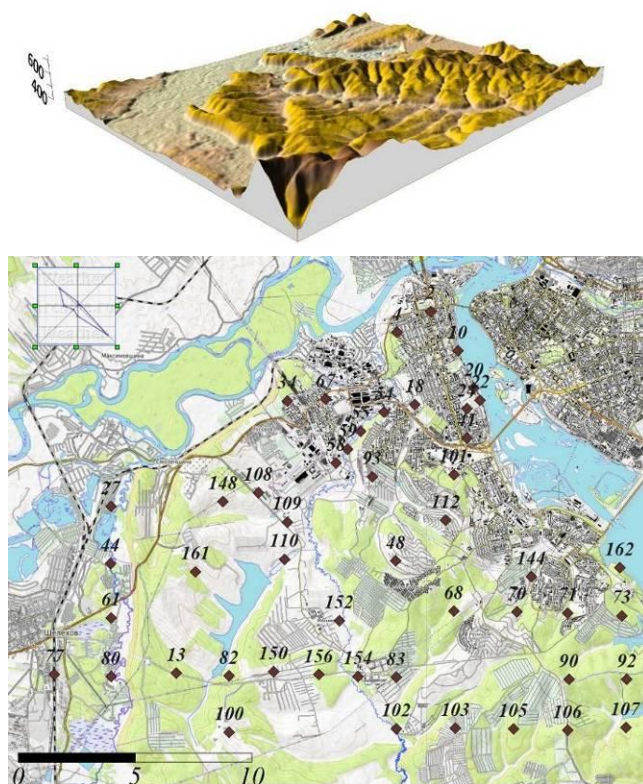


Рис. 1. 3D-модель рельефа исследуемой территории (вверху) и схема расположения точек отбора проб снежного покрова (внизу)

Количество и интенсивность осадков на протяжении холодного периода существенно изменяются в связи с особенностями атмосферной циркуляции. Влияние микроклиматических особенностей значительно сказывается на пространственном распределении загрязняющих веществ в городской атмосфере, но при небольшой высоте снега немаловажным аспектом оказывается взаимовлияние микрорельефа и структуры поля снежного покрова. При заполнении микронеровностей рельефа снежный покров формирует собственную поверхность [1].

Целью исследования было изучение влияния микрорельефа на особенности пространственного изменения водородного показателя pH, электропроводности и распределения высоты снежного покрова.

Пробы снега отбирались на территории Иркутска в 2021, 2022, 2023 гг. Для сравнительного анализа был построен разрез по профилю, проходящему по наиболее холмистому рельефу исследуемой территории (рис. 1, 2).

Для моделирования 3D-поверхности рельефа исследуемой территории и построения разрезов использовалось программное обеспечение Golden Software Surfer 20. Диаграммы рассеяния построены с помощью программы Statistica.

На разрезе, представленном на рисунке 2, можно увидеть, что высота снежного покрова наиболее изменчива в точках, расположенных на наветренных склонах. Диаграммы рассеивания (рис. 3) показывают, что высота снежного покрова в 2021 г. изменялась от 38 до 60 см; в 2022 г. – от 20 до 30 см; в 2023 – от 32 до 50 см.

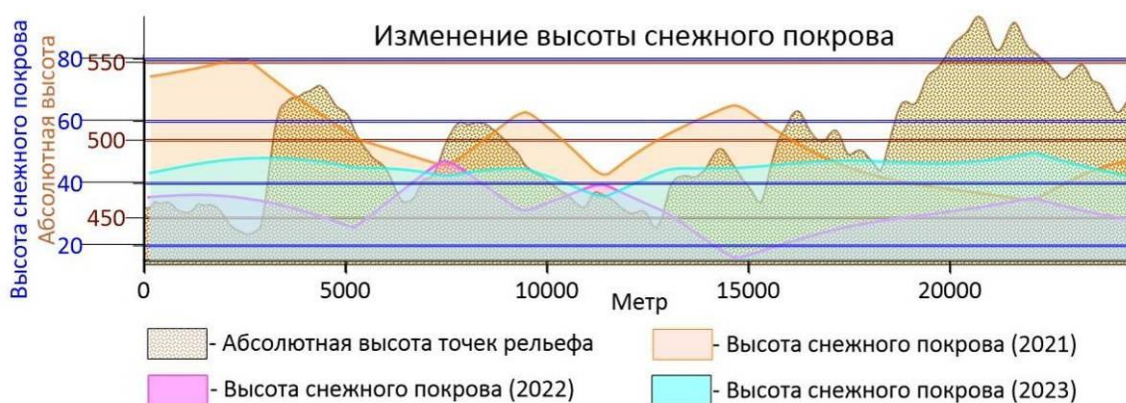


Рис. 2. Динамика изменения высоты снежного покрова за период 2021–2023 гг.

Электропроводность водных растворов определяется ионным составом, в том числе наличием ионов, обладающих малым ионным радиусом и другими свойствами [2]. На рисунке 4 показана динамика изменения удельной электропроводности фильтрата снеговой воды. Следует отметить, что более высокие значения электропроводности наблюдаются в пониженных частях рельефа. Это можно объяснить тем, что снег сдувается с водораздельных пространств, наветренных склонов холмов и межовражных ровных мест в пониженные формы рельефа [3].

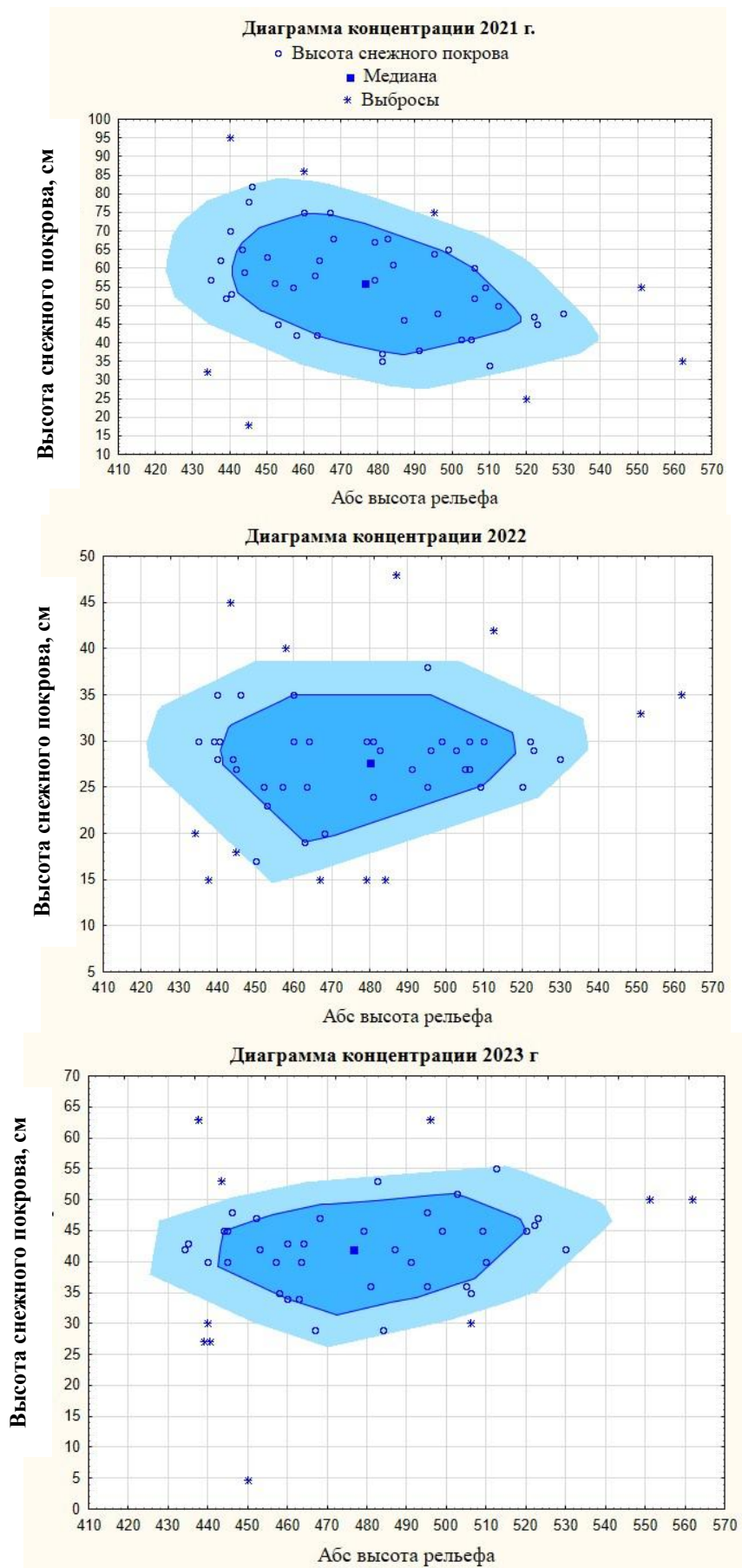


Рис. 3. Диаграммы рассеяния высоты снежного покрова за период 2021–2023 гг.

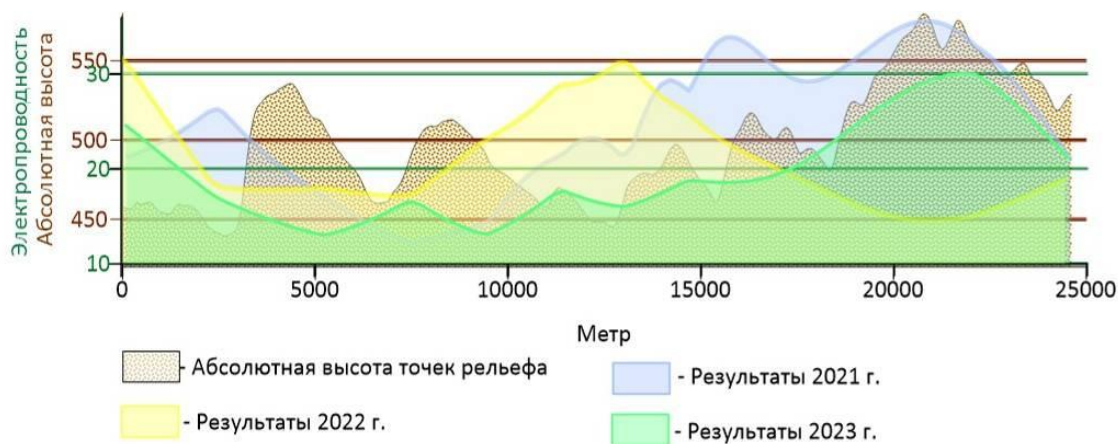


Рис. 4. Динамика изменения электропроводности фильтрата талой воды за период 2021–2023 гг.

Величина рН атмосферных осадков и снеговой воды обусловлена, в основном, присутствием в атмосфере оксидов азота, углерода, серы [1]. На рисунке 5 можно отметить, что наибольшие значения рН в талой воде наблюдаются в центральной части разреза и приурочены к пониженным значениям рельефа и наветренной стороне склонов.

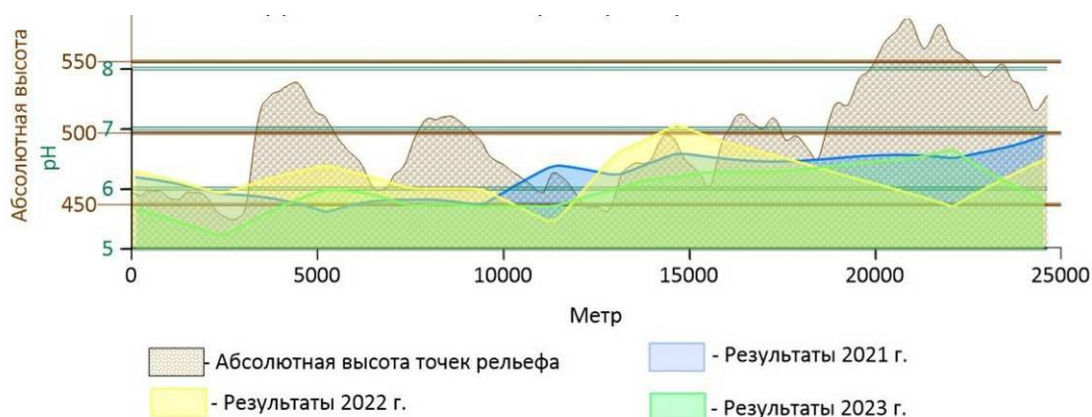


Рис. 5. Динамика изменения показателя рН в пробах талой воды (2021–2023 гг.)

Пространственный анализ распределения снежного покрова показал, что высота снежного покрова наиболее изменчива в точках, расположенных на наветренных склонах. Более высокие значения электропроводности и рН наблюдаются в центральной части разреза и приурочены к пониженным значениям рельефа с затрудненным стоком воздушных масс.

Библиографический список

1. Иркутск. Природные условия города. [Электронный ресурс]. – URL: http://irkipedia.ru/content/irkutsk_prirodnye_usloviya_goroda (дата обращения: 25.10.2023).
2. Янченко Н. И. Особенности изменения величины рН и электропроводности снежного покрова в Братске // Известия Томского политехнического университета. Химия и химические технологии. 2014. Т. 325. № 3. С. 23–27.

3. Макаров В. С., Зезюлин Д. В., Беляков В. В. Анализ влияния местности на параметры снежного покрова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 8–1. С. 21–25. [Электронный ресурс]. – URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5630> (дата обращения: 27.10.2023).

МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

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 г. и 2023 г. в сравнении. Выявлены основные изменения химического состава воздуха на основе измерения пяти наиболее распространённых газов за 2022–2023 гг.

Ключевые слова: атмосферный воздух, городская среда, автотранспорт, портативный газоанализатор, загрязняющие вещества: CH_4 , CO_2 , CO , H_2S , NH_3 .

Кировская область является промышленно и сельскохозяйственно развитым регионом с большим количеством разнообразных предприятий и широкой сетью автомобильных дорог. Работа промышленных предприятий и автотранспорта сопровождается выбросами в атмосферу значительного числа загрязняющих веществ. В связи с этим наблюдение за экологическим состоянием атмосферного воздуха городской среды является одной из важнейших задач природоохранных органов. Наряду с такими опасными веществами как диоксины, бенз[а]пирен, бромоводород, циановодород, фенолы, сероводород, которые могут присутствовать в атмосферном воздухе городской среды [1], важен постоянный экологический мониторинг по определению общепромышленных загрязняющих веществ: оксидов углерода, серы, азота, содержащихся в выбросах большинства предприятий и автотранспорта, включая парниковые газы и запахообразующие вещества [2–5].

В настоящей работе приведены данные двухлетнего мониторинга атмосферного воздуха, отражающие динамику концентрации CH_4 , CO_2 , CO , H_2S , NH_3 , а также наличия запахообразующих веществ, выявляемых органолептическим методом. Для измерения концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферном воздухе использовали портативный газоанализатор ГАНК-4. Измерения проводили три раза в год: в марте (до таяния снега); в июне и в октябре (после осеннего листопада). 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 участков (точек) вдоль ул. Ленина, от мкр. «Солнечный берег» (точка 1) до перекрёстка с ул. Профсоюзная (точка 10). Для выявления концентрации газовых примесей в условно чистых и загрязнённых районах, было добавлено ещё 3 ключевые точки в различных

районах г. Кирова [6, 7]. Номера точек, где проводились измерения, показаны на рисунке 1.



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

В 2022 г. содержание исследуемых газов (CH_4 , CO_2 , CO , H_2S , NH_3) определялось вдоль ул. Ленина в точках № 1 – 10. В ходе исследований не было зафиксировано ни по одному из определяемых газообразных веществ превышений значений ПДК среднесуточного содержания. Также в ходе измерений не было отмечено присутствие в воздухе метана.

Результаты измерений содержания CO_2 – основного парникового газа – отражены на рисунке 2. На диаграмме приведены данные о концентрации CO_2 в воздухе в марте, июне и октябре 2022 и 2023 гг. в утренние часы – с 8:00 до 11:00, и в вечерние – с 16:00 до 19:00 час.

По сравнению с 2022 г., концентрация CO_2 в марте 2023 г. увеличилась в среднем на 10–20 mg/m^3 . В июне и октябре наблюдалось заметное снижение концентрации CO_2 , по сравнению с предыдущим годом. Возможно, это связано с благоприятными для активного фотосинтеза погодными условиями. При этом следует отметить, что содержание CO_2 на всех исследуемых участках практически не изменилось и сохранилось в 2023 г. на уровне 2022 г. Особенно это характерно для утренних часов. В вечерние часы концентрация углекислого газа в воздухе в 2023 г. оказалась несколько выше, чем в утренние. Некоторые различия по содержанию CO_2 в атмосферном воздухе в вечернее время с 16:00 до 19:00 в 2023 и 2022 гг., скорее всего, вызваны резким изменением погодных условий в дни измерений.

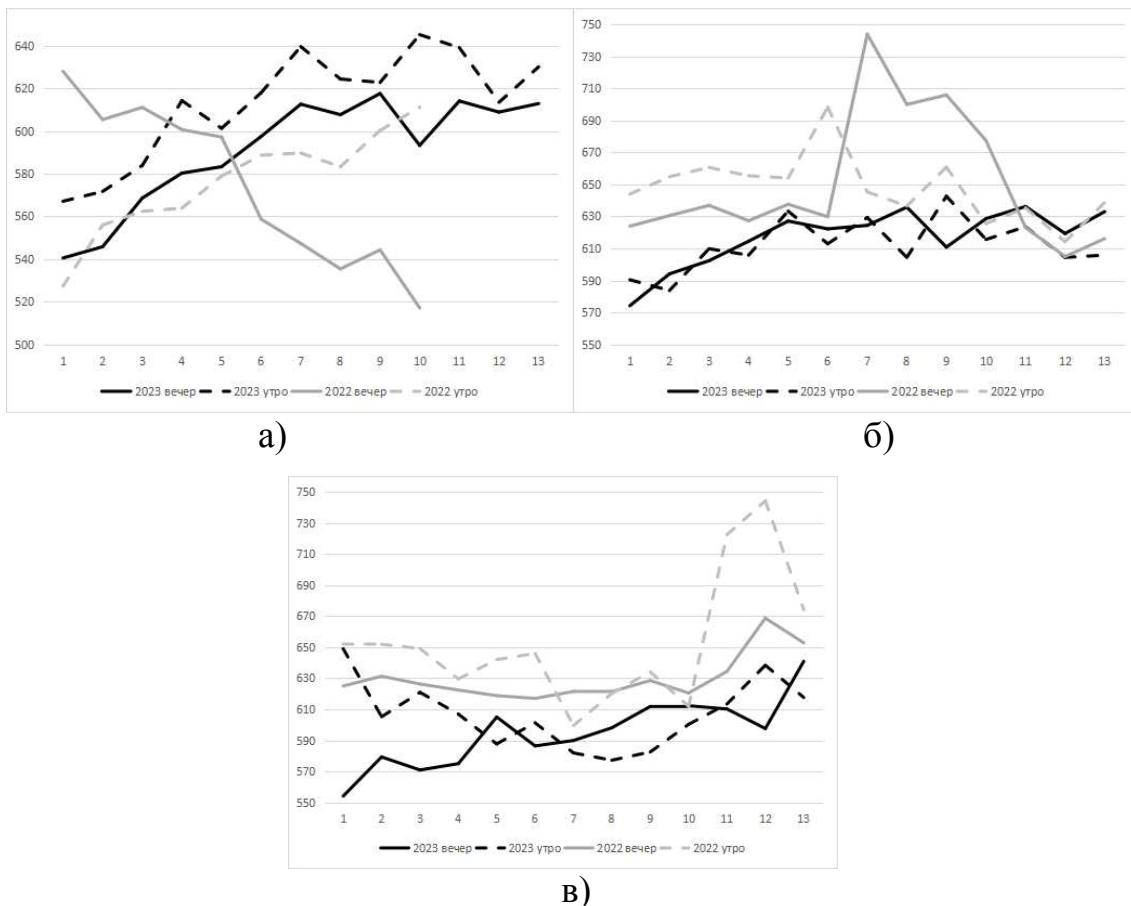


Рис. 2. Концентрация углекислого газа в воздухе, мг/м³:
 а) март; б) июнь; в) октябрь

Данные по содержанию оксида углерода (II) – основного загрязняющего вещества атмосферного воздуха городской среды – представлены на рисунке 3.

Концентрация оксида углерода (II) в атмосферном воздухе в 2023 г., по сравнению с предыдущим годом, в основном, не изменилась и осталась на всех исследуемых участках практически на прежнем уровне.

Лишь в марте 2023 г. концентрация CO в атмосферном воздухе несколько снизилась по сравнению с прошлым годом. Это может быть связано с погодными условиями, ранней, теплой весной 2023 г. и, соответственно, снижением уровня подачи тепла в отопительный сезон. Наибольшие значения по содержанию CO в атмосферном воздухе отмечены в октябре как 2022 г., так и 2023 г. и, особенно, в вечерние часы. Основной причиной этого может быть начало отопительного сезона и увеличение на улицах потока автотранспорта после летних отпусков. Кроме того, на момент измерений, в южной части города ощущался стойкий запах гари.

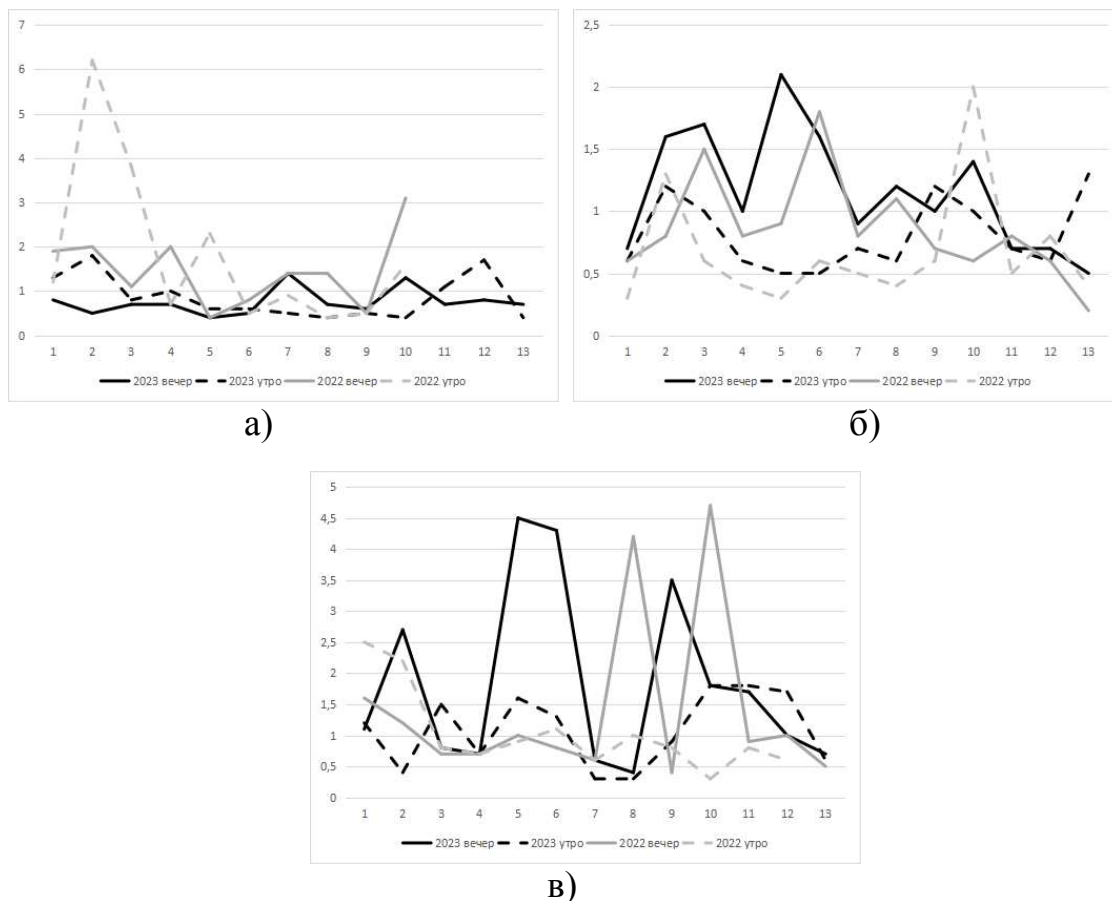


Рис. 3. Концентрация СО в воздухе, мг/м³:
а) март; б) июнь; в) октябрь

Сероводород остаётся основным веществом, формирующим в атмосферном воздухе неприятные запахи. Результаты измерения его содержания представлены на рисунке 4.

Концентрация сероводорода в атмосферном воздухе в октябре 2023 г., по сравнению с предыдущим годом, заметно выросла, а в июне отмечено снижение концентрации данного загрязняющего вещества. Если концентрация этого газа ранее не превышала 0,004 мг/м³, и значения её колебались от 0 до 0,002 мг/м³, то в октябре 2023 г. были отмечены высокие концентрации данного загрязняющего вещества – до 0,008 мг/м³ на перекрёстке ул. Ленина и ул. Профсоюзная, что достигло значений ПДК, а также в парке имени С. М. Кирова – до 0,007 мг/м³, вероятно, по причине того, что здесь длительное время ведутся строительные работы.

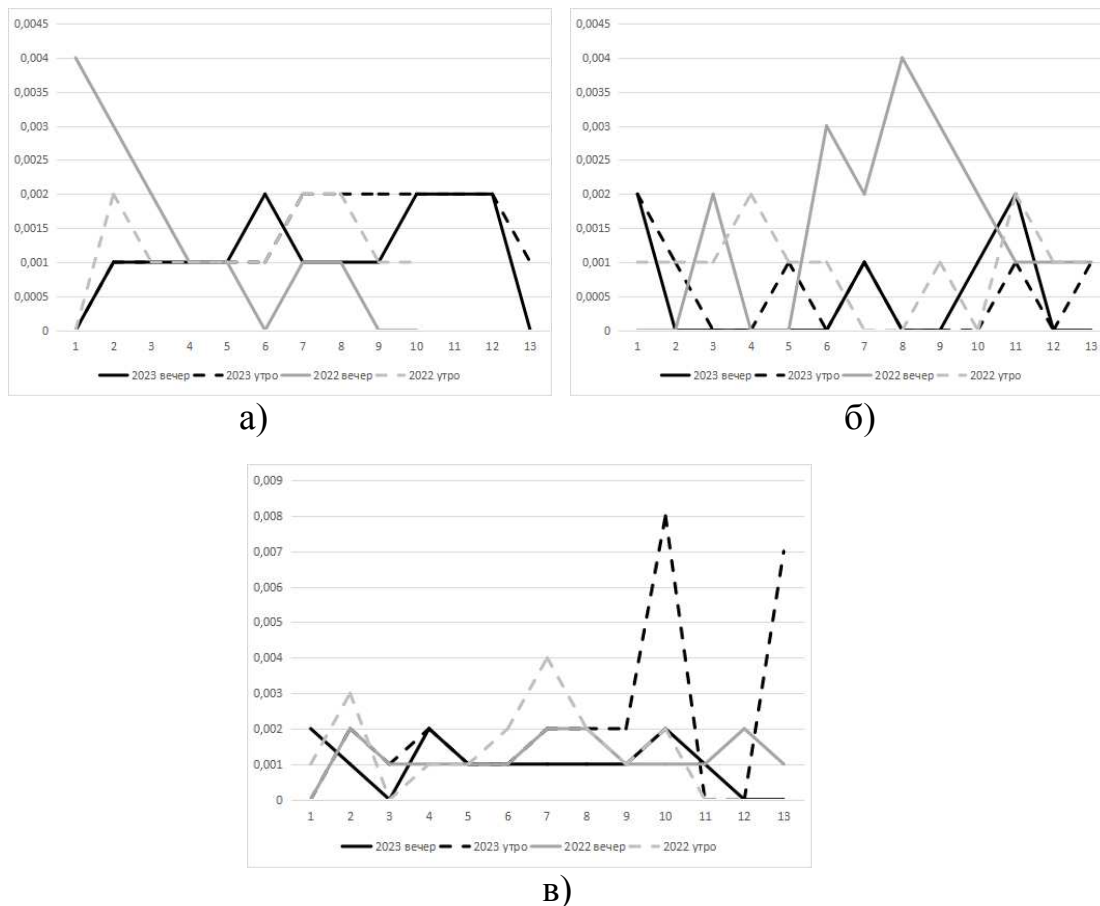


Рис. 4. Концентрация сероводорода в воздухе, мг/м³:
а) март; б) июнь; в) октябрь

В целом, ситуация по состоянию атмосферы в г. Кирове остаётся стабильной. Резких и значительных изменений по содержанию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе не наблюдается. На этих же участках проведение исследований по изучению состояния атмосферного воздуха городской среды будет продолжено в 2024 году, что даст основание сделать более достоверные выводы о качестве атмосферного воздуха на центральных улицах города Кирова и обосновать причины его загрязнения.

Кроме того, в 2024 году планируется в исследованиях подключиться к замерам проб атмосферного воздуха, которые проводятся Природоохранным центром при Министерстве охраны окружающей среды Кировской области, с целью выявления в городской среде локальных участков с максимальным, в том числе с запаховым, загрязнением. Современная приборная база передвижной экоаналитической лаборатории Природоохранного центра позволяет в оперативном режиме получать актуальную информацию сразу по нескольким показателям, по полученным данным делать прогноз и выявлять последствия чрезвычайных ситуаций для окружающей среды.

Библиографический список

1. Мониторинг атмосферного воздуха в районе предприятий по утилизации опасных промышленных отходов / Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор, А. С. Тимонов, Е. А. Домнина, Е. В. Дабах, Н. В. Сырчина, Л. В. Кондакова, Т. И. Кутявина, С. Г. Скугорева,

С. Ю. Огородникова, В. В. Рутман, Д. А. Кузнецов // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 1. С. 38–46. doi: 10.25750/1995-4301-2023-1-038-046

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

3. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 26–34.

4. Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние подкисления на эмиссию сероводорода в органических отходах свинокомплексов // Проблемы региональной экологии. 2021. № 4. С. 102–106.

5. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Моделирование углеродного баланса полигонов твёрдых коммунальных отходов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 198–204.

6. 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. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 32–37.

7. 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.

К ВОПРОСУ БИОДИАГНОСТИКИ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Л. В. Кубрина

*Омский государственный педагогический университет,
kubrina-lyudmila@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования оценки качества поверхностных вод с помощью тест-объекта клоповника посевного, или кресс-салата *Lepidium sativum*. Выявлена зависимость между качеством воды и энергией всхожести семян биоиндикатора.

Ключевые слова: биоиндикация, поверхностные воды, качество воды, кресс-салат.

Загрязнение городских вод является одной из наиболее важных экологических проблем, препятствующих урбанизации и индустриализации. Вода из таких источников используется человеком для многих видов деятельности, включая промышленную и рекреационную. Водоёмы, в которые попадают сточные воды и антропогенно загрязнённые осадки, со временем претерпевают необратимые изменения [1–3].

Различные загрязняющие вещества, в том числе тяжёлые металлы, нефтепродукты и органические отходы, попадают в воду вместе с бытовыми и промышленными отходами, что может оказать значительное влияние на воду и ее пригодность для использования в любых видах деятельности [4, 5].

Процедура отбора проб воды регламентируется требованиями ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб», ГОСТ Р 31862-2012 «Вода питьевая. Отбор проб» и др. Стандарты устанавливают общие требования к отбору, транспортированию и подготовке к хранению проб воды, предназначенных для определения показателей ее состава и свойств.

Отбор проводился в крупных естественных водных объектах г. Омска: реках Иртыш и Омь, водоеме на территории ПКиО имени 30-летия Победы и водоеме на территории природного парка «Птичья Гавань».

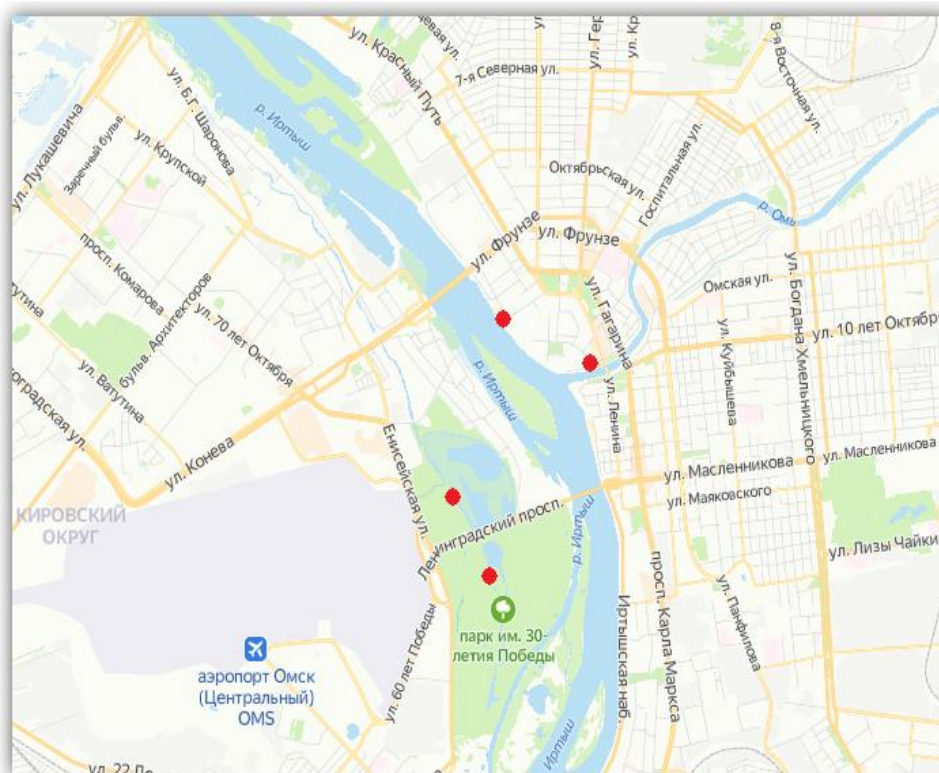


Рис. 1. Карта участков отбора проб

Для определения степени загрязнения естественных водных объектов в качестве тест-объекта использовали семена клоповника посевного, или кресс-салата *Lepidium sativum*.

Выбор тест-объекта обусловлен несколькими факторами. Кресс-салат чувствителен к наличию в пробах тяжелых металлов и иных антропогенных примесей. Вид быстро прорастает, имеет хорошую всхожесть, холодоустойчив. Опыты можно проводить в небольших промежутках времени, поскольку растение всходит уже на 3–4 день, и результаты эксперимента можно получить через 10–15 дней.

Проращивание семян проводили в чашках Петри, на дно которых в качестве подстилки была уложена фильтровальная бумага.

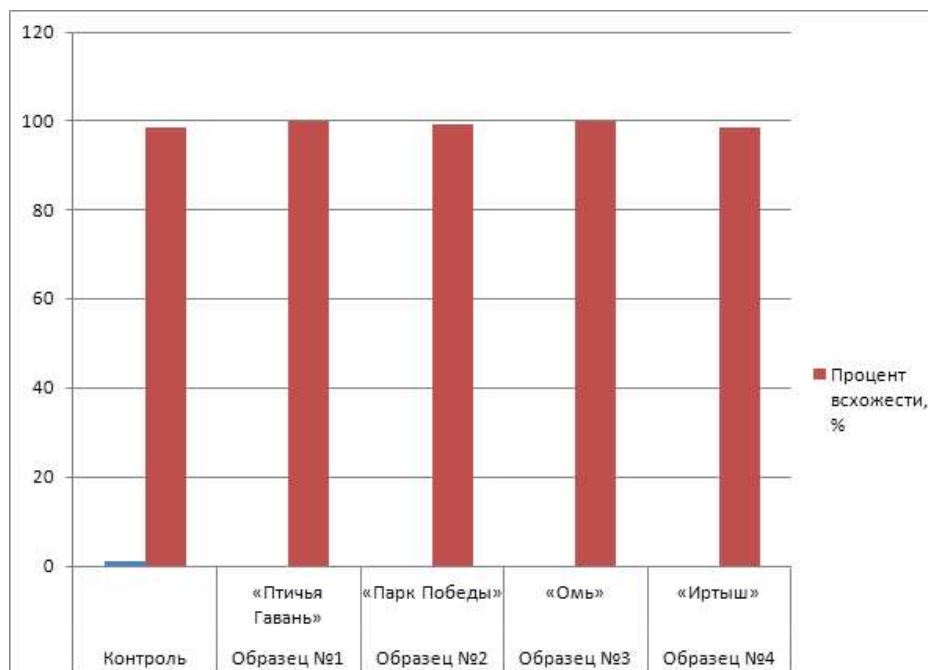


Рис. 2. Процент всхожести семян кресс-салата *Lepidium sativum*

Сопоставляя результаты проведенных исследований основных химических показателей качества воды с данными результатами, можно выявить некоторые закономерности: содержание тяжелых металлов, продуктов жизнедеятельности и разложения, а также антропогенная нагрузка действительно негативно влияют на рост и развитие растительных организмов, причем достаточно даже самого малого превышения предельно допустимых концентраций, чтобы можно было наглядно наблюдать эффект загрязнения.

Результаты исследования показали, что максимальное значение характерно для образца № 1 и составляет 100%, чуть ниже в образцах № 2, № 3 и № 4.

Библиографический список

1. Комплексная оценка токсичности речных и сточных вод, формируемых на загрязнённой промышленными отходами территории / Т. А. Мусихина, А. А. Юрлов, Е. А. Земцова, В. Ю. Филатов // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 133–139. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-133-139
2. Ушакова И. Г., Горелкина Г. А., Корчевская Ю. В. Анализ источников водоснабжения населенных пунктов Омской области, расположенных вдоль р. Оми // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (28). С. 258–262.
3. Федорова А. И. Биоиндикация загрязнений городской среды // Известия РАН. Серия География. 2002. № 1. С. 72–80.
4. Кубрина Л. В., Супиниченко Е. А. Использование кресс-салата как тест-объекта для оценки загрязнения снежного покрова // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 1. С. 11–15.
5. Кубрина Л. В. Индикация антропогенного загрязнения сточных вод // Экологические проблемы региона и пути их разрешения : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. / под общей ред. Е. Ю. Тюменцевой. Омск : Омский государственный технический университет, 2020. С. 29–34.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РТУТИ В ВОДЕ, ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ И ГИДРОБИОНТАХ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ Р. ВОЛГИ

*Е. В. Аристархова¹, А. А. Дронова¹, Д. Б. Петренко^{1,2}, А. В. Горбунов¹,
Б. В. Ермолаев¹, Г. А. Грановская¹*

¹ Геологический институт РАН, *aristarkhova_lisa@mail.ru*,

² Государственный университет просвещения, *dbpetrenko@yandex.by*

В статье представлены результаты изучения распределения ртути в поверхностных и придонных водотоках, донных отложениях и гидробионтах (рыба, ракообразные) р. Волги и р. Ахтубы на протяжении Волго-Ахтубинской поймы. Показана зависимость концентрации ртути и значения рН в воде р. Волги от глубины отбора пробы; выявлена статистически значимая корреляция между концентрацией ртути в придонной воде и донных отложениях. Обнаружена закономерность в накоплении ртути в мышцах рыб-фитофагов и хищных видов рыб.

Ключевые слова: ртуть, поверхностная и придонная вода, донные отложения, гидробионты, Волго-Ахтубинская пойма.

Волгоградско-Астраханский комплекс является крупнейшим на юге России сосредоточением промышленных предприятий – это машиностроение, черная и цветная металлургия, химическая и нефтехимическая промышленность и т. д. Состояние вод Волгоградского водохранилища у г. Волгограда и на территории Волго-Ахтубинской поймы в 2015–2021 гг. оценивалось как «загрязненное» [1, 2].

Ртуть и ее соединения являются высокотоксичными химическими веществами и отнесены в России к первому классу опасности. Примерно половина выбросов Hg в окружающую среду имеет природное происхождение – из-за дегазации земной коры и в результате выщелачивания горных пород. Концентрация общей ртути в воде поверхностных водотоков в нижнем течении Волги по различным оценкам составляла до 0,42 мкг/л (ПДК_{водн.} = 0,5 мкг/л) [1, 3]. В донных отложениях, которые являются основным хранилищем ртути в пресноводных системах, содержание ее колеблется в пределах 0,03–0,18 мг/кг [2]. Приведенные выше данные показывают значимое присутствие ртути в водной среде Волго-Ахтубинской поймы. При этом мало информации о пространственном распределении загрязнителя. Недостаточно также данных о распределении ртути в воде, донных отложениях и гидробионтах (рыба, ракообразные).

Отбор образцов вод и донных отложений проводился в сентябре-октябре 2022 г. в соответствии с нормативными документами [4, 5]. Всего было отобрано 50 проб вод и донных отложений с 20 участков на протяжении 450 км Волго-Ахтубинской поймы. Отлов рыбы и ракообразных проводился в районе участка № 9, поселок Цаган Аман, и в дельте р. Волги в районе посел-

ка Гандурино, участок № 13. Суммарно было собрано 135 образцов гидробионтов (лещ, чехонь, жерех, плотва, окунь, сазан, судак, сом и раки) [6, 7].

Определение концентрации ртути проводилось методом атомной абсорбции с «холодным» паром в лаборатории ГИН РАН (г. Москва) на анализаторе «Юлия-5К» (НПО «Метрология», Россия) [6–8]. Контроль качества результатов анализа осуществлялся с помощью стандартных и контрольных образцов, аттестованных на содержание Hg. Предел определения в образцах донных отложений и рыбы составлял 0,2 мкг/кг, для образцов воды – 0,02 мкг/л.

В таблице 1 приведены значения рН и концентрации ртути в отобранных образцах воды и донных отложениях р. Волги и р. Ахтубы. Превышение ПДК для ртути в поверхностной воде обнаружено только на участке № 26 (пруд-отстойник Большой Лиман), в остальных пробах воды нарушение нормативов для питьевой воды не зафиксировано. Содержание Hg в донных отложениях определено в пределах 2–72 мкг/кг, максимальные значения отмечены для участков № 6, 9, 13. Значения рН воды в р. Волге и р. Ахтубе находятся в пределах 7,25–9,33, превышение ПДК рН воды незначительно и отмечено для участков отбора № 16, 17 и 26.

Таблица 1

Показатели рН и содержание Hg в воде и донных отложениях в Волго-Ахтубинской пойме

Значение	С _{ср.}	Мин/Макс	Ст. откл.	ПДК _{водн.}
Вода, n = 30				
рН	8,15	7,25/9,52	0,46	6,0-9,0
Hg, мкг/л	0,09	0,02/0,73	0,13	0,5
Донные отложения, n = 20				
Hg, мкг/кг	19,7	2,0/72	17,0	–

На рисунке 1 приведены графики распределения рН и концентрации ртути в поверхностной воде р. Волги и р. Ахтубы в Волго-Ахтубинской пойме. Распределение построено по направлению течения обеих рек с севера на юг с соответствующим расположением на графике участков отбора проб. На графике распределения ртути на р. Волге можно выделить два максимума: это участок № 2 (15 км перед плотиной Волжской ГЭС) и участки № 8, 9. На графике распределения ртути по течению р. Ахтубы можно отметить один максимум – это участок № 3*.

Участки отбора воды №№ 8, 9 (р. Волга) и № 3* (р. Ахтуба) относятся к зоне влияния промышленности Ахтубинска (радиоэлектронное и оптоэлектронное производство, судостроение, производство сухих смесей компании «КНАУФ»). Следует отметить, что к этой же области относится некоторое повышение концентрации ртути в донных отложениях (табл. 1).

Максимумы значений рН (участки № 4* и № 5*) территориально относятся к округу Астраханского газоперерабатывающего завода, выбросы которого, в зависимости от состава, меняют среду в более щелочную сторону.

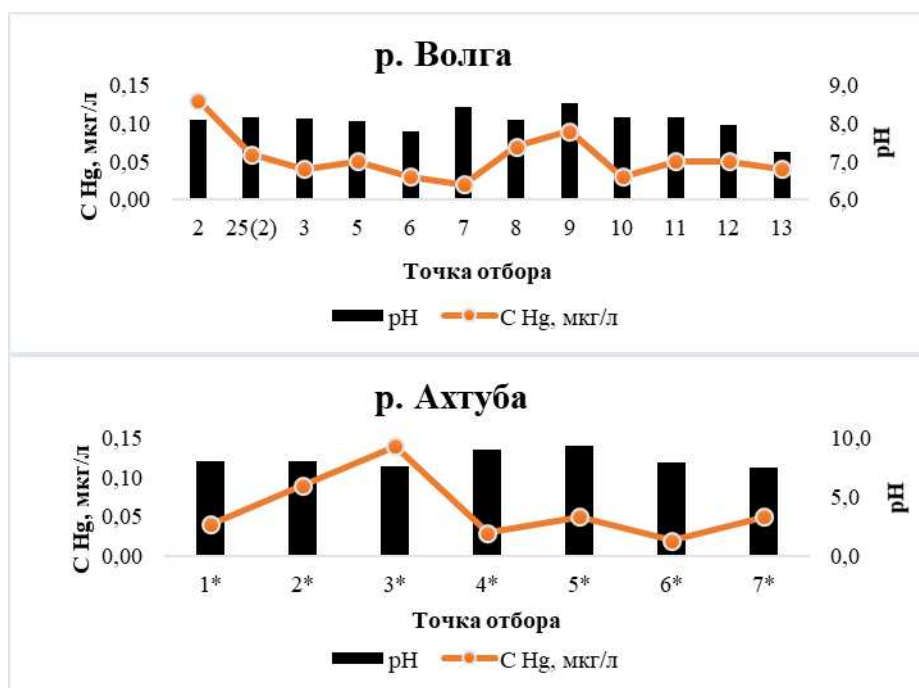


Рис. 1. Распределение значения рН и концентрации ртути в поверхностной воде на протяжении р. Волги и р. Ахтубы

На рисунке 2 показана неравномерность распределения ртути и значения рН на различных глубинах р. Волги. Концентрация Hg в поверхностной воде минимальная, затем идет увеличение значений на глубине 3–4 м и сохранение этих значений до глубины 15–20 м.

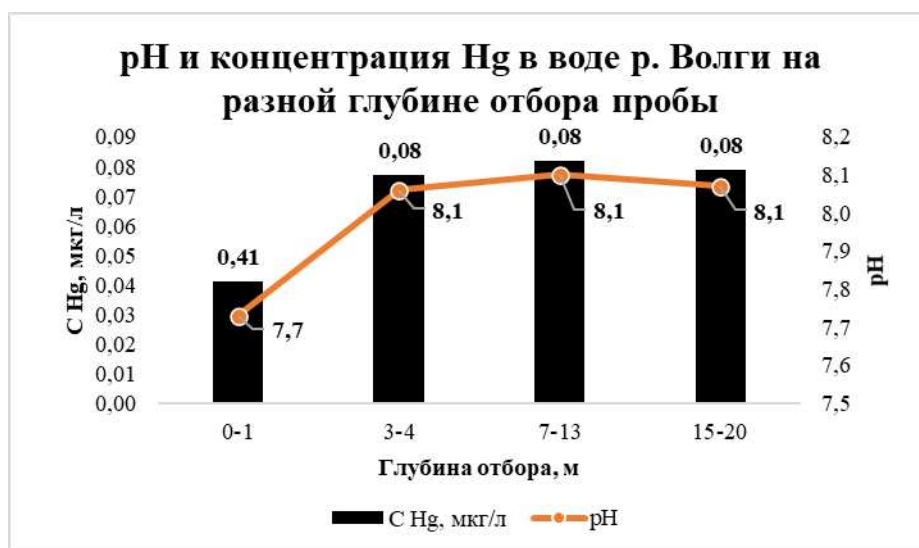


Рис. 2. рН и концентрация Hg в воде р. Волги в зависимости от глубины отбора пробы

При анализе совместного распределения концентрации ртути в придонной воде и донных отложениях р. Волги и р. Ахтубы по протяжении всего профиля сбора с севера на юг обнаружена некоторая степень синхронности. Коэффициент корреляции между этими рядами данных: $r = 0,501$, $p = 0,032$

для р. Волга (слабо значимая связь); $r = 0,864$, $p = 0,001$ для р. Ахтуба (сильная связь).

В таблице 2 приведены данные о весовых параметрах выловленной рыбы и концентрации ртути в мышцах и икре. Следует отметить, что значение ПДК не превышено ни в одном из образцов. Минимальная концентрация ртути характерна для речного рака, максимальная – для сома. При этом содержание загрязнителя в икре рыбы незначительное.

Таблица 2

Концентрация Hg в мышцах рыб и ракообразных

№ пп	Объект	Масса, г	Hg, мкг/кг	
		Сред. \ мин-макс	$C_{cp} \pm Cт. откл$	ПДК
1	Чехонь, n = 16	410 \ 280–650	41 ± 20	300
2	Лещ, n = 10	340 \ 170–550	56 ± 33	
3	Жерех, n = 6	890 \ 530–3150	150 ± 8	
4	Плотва, n = 13	75 \ 51–196	79 ± 28	
5	Окунь, n = 27	67 \ 32–245	159 ± 78	600
6	Сазан, n = 11	1330 \ 510–2320	70 ± 49	
7	Судак, n = 15	331 \ 256–733	229 ± 138	
8	Щука, n = 18	909 \ 193–2700	207 ± 108	
9	Сом, n = 5	1750 \ 1000–2600	259 ± 93	200
10	Икра плотвы, n = 4		11,0 ± 3,0	
11	Икра щуки, n = 4		10 ± 3,0	
12	Икра окуня, n = 9		6,0 ± 2,0	
13	Рак, n = 13		10,0 ± 5,3	

На рисунке 3 показано распределение ртути в мышцах рыб в зависимости от вида. Учитывая особенности рациона питания, видно, что хищные представители в большей степени накапливают Hg, попадающую в организм с пищей, в мышечной массе, чем фитофаги.



Рис. 3. Распределение концентрации ртути в мышцах гидробионтов в зависимости от вида

В результате проведенной работы было оценено распределение ртути в воде, донных отложениях и гидробионтах в основных водотоках (р. Волга и р. Ахтуба) Волго-Ахтубинской поймы. Концентрация ртути в поверхностной и придонной воде р. Волги и р. Ахтубы находится в пределах 0,02–0,73 мкг/л, с превышением ПДК для питьевой воды на одном участке (№ 26, пруд-

отстойник Большой Лиман). Концентрация ртути в донных отложениях составляла 2–72 мкг/кг, что соответствует фоновым значениям. Обнаружены некоторые пространственные закономерности распределения ртути в воде и донных отложениях, приуроченные к промышленным предприятиям г. Волжского и г. Ахтубинска. Показана зависимость концентрации ртути и значения рН в воде р. Волги от глубины отбора пробы, выявлена статистически значимая корреляция между концентрацией ртути в придонной воде и донных отложениях р. Ахтубы. Оценена концентрация ртути в мышцах гидробионтов, выявлена закономерность в накоплении ртути в мышцах рыб-фитофагов и хищных видов рыб: концентрация ртути в мышцах хищников в 2–3 раза выше, чем в мышцах фитофагов.

Библиографический список

1. Загрязняющие вещества в водах Волжско-Каспийского бассейна / В. Ф. Бреховских, Е. В. Островская, З. В. Волкова, С. К. Монахов, В. М. Перекальский, Н. Н. Абрамов, И. А. Немировская, А. В. Савенко, О. С. Покровский, А. И. Агатова, Н. М. Лапина, Н. И. Торгунова, В. С. Брезгунов, Н. В. Петрова, Л. В. Курдина, А. А. Курапов, С. А. Зубанов, Л. Ф. Непоменко. Астрахань : Сорокин Роман Васильевич, 2017. 408 с.
2. Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2021 году» / Ред. кол.: Е. П. Православнова, С. Н. Водолагин, П. Е. Коротов, Е. Ю. Масленникова, М. А. Мытарев, И. А. Панина, В. Е. Синичкин, И. В. Ундакова, А. А. Шалаев; комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. Волгоград : «ТЕМПORA», 2022. 300 с.
3. Булаткина Е. Г., Плакитин В. А., Адрианов В. А. Динамика содержание микроэлементов в речной воде низовья Волги // Геология, география и глобальная энергетика. 2013. Т. 50. № 3. С. 187–194.
4. ПНД Ф 12.1:2.2.2:2.3:3.2-03 Отбор проб почв, грунтов, донных отложений, илов, осадков сточных вод, шламов промышленных сточных вод, отходов производства и потребления. [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293768/-4293768529.htm> (дата обращения: 12.10.2023).
5. P52.24.353-2012 Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096368> (дата обращения: 12.10.2023).
6. МУК 4.1.1470-03 Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в биоматериалах при гигиенических исследованиях. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034849> (дата обращения: 12.10.2023).
7. РД 52.18.827-2016 Массовая доля ртути в пробах почв, грунтов, донных отложений и биоматериалах. Методика измерений методом атомно-абсорбционной спектроскопии «холодного пара». [Электронный ресурс]. – URL: <https://e-ecolog.ru/docs/DvHgCVKeQbOeMii6HW3u9> (дата обращения: 12.10.2023).
8. ГОСТ 31950-2012. Вода. Методы определения общей ртути беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрией. [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52659/> (дата обращения: 12.10.2023).

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛОГО ВОДОЕМА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Д. В. Иванов, И. И. Зиганшин, Р. Р. Хасанов
Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан, water-rf@mail.ru

В статье приводятся результаты оценки качества донных отложений озера Малое Чайковое, расположенного на территории Ново-Савиновского района г. Казани. Озерные отложения представлены тонкодисперсными глинистыми илами с высоким содержанием пелитовой фракции и органического вещества, а также торфогенными илами. Суммарный объем накопленных донных отложений в озере оценивается величиной 2060 м³, а их масса – 2575 т. Степень загрязнения донных отложений оценивается как умеренная. В целях сохранения водоема рекомендуется частичное изъятие донных отложений.

Ключевые слова: загрязнение, донные отложения, оценка качества, урбанизированные территории, эвтрофирование, озеро Малое Чайковое.

Донные отложения являются неотъемлемым компонентом лимнических систем, в значительной степени определяя величину продуктивности водоемов, регулируя потоки биогенных элементов в системе вода – дно и влияя на проявления процессов эвтрофирования и цветения водоемов в летний период. Изучение свойств донных отложений позволяет получить достоверную картину загрязнения поверхностных вод. Особенно актуальным мониторинг донных отложений становится для небольших, мелководных малопроточных водоемов урбанизированных территорий, которые наиболее уязвимы к антропогенному воздействию и сильнее реагируют на все виды антропогенных воздействий [1]. Для них накопление донных отложений может явиться критическим фактором, приводящим к полному исчезновению водоемов [2]. В этой связи оценка качества донных отложений водоемов урбанизированных территорий представляет собой актуальную практическую задачу.

Озеро Малое Чайковое расположено в Ново-Савиновском районе г. Казани, в квартале, ограниченном улицами Маршала Чуйкова, Адоратского, Академика Лаврентьева и Фатыха Амирхана (рис. 1). Координаты озера: 55°50'0.49" с. ш., 49° 8'20.39" в. д. Территория расположения озера относится к категории земель поселений (земли населённых пунктов). Современная площадь озера составляет 1,1 га. Озеро водораздельное, расположено на второй надпойменной террасе р. Волга. Образование озера как самостоятельного водного объекта связано с подъемом уровня грунтовых вод при создании Куйбышевского водохранилища в 1957 г. Озеро является местом обитания водных и околоводных птиц, также активно используется населением в ре-

креационных целях. В 2013 г. выполнены работы по благоустройству озера, в том числе проведена частичная очистка от ила по периметру водоема.

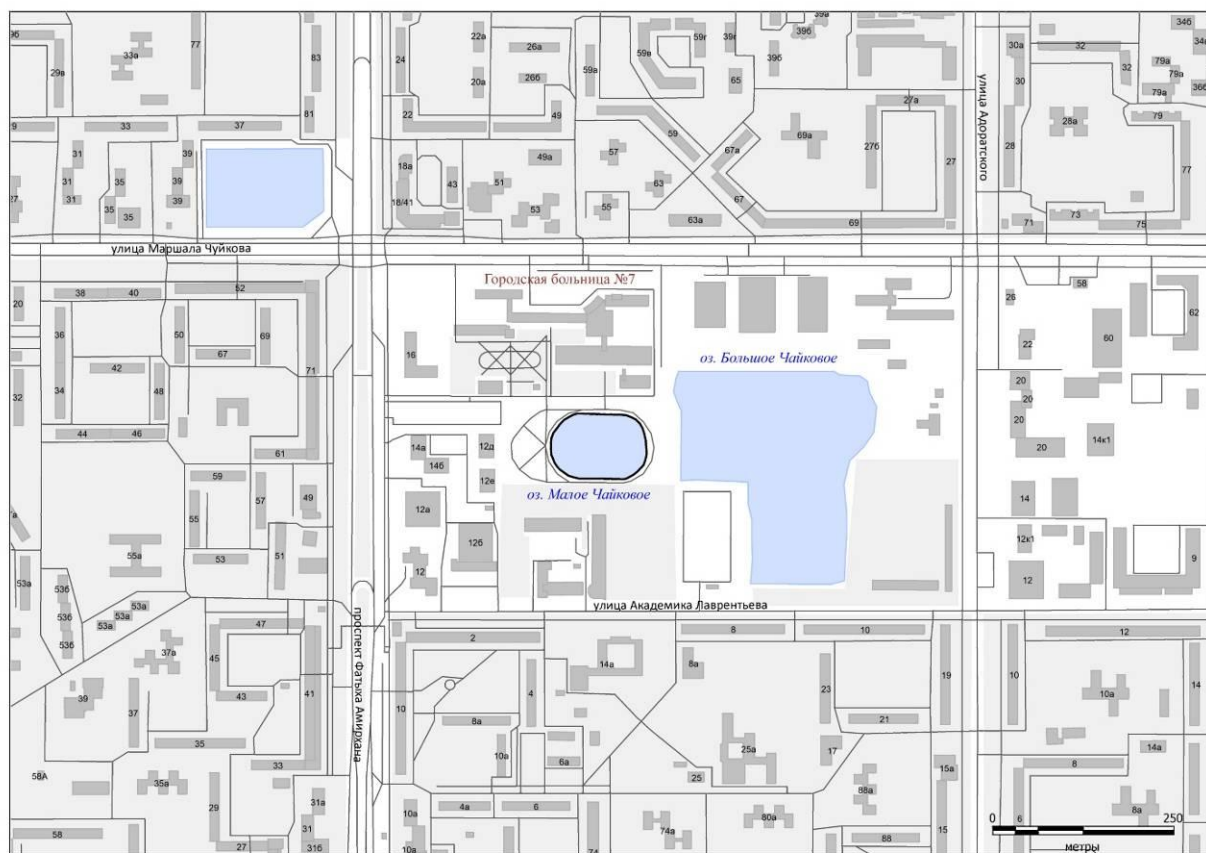


Рис. 1. Карта расположения озера Малое Чайковое

Обилие в воде питательных элементов стало причиной бурного роста зеленых нитчатых водорослей в последующие после благоустройства годы [3].

Полевые исследования озера проведены в летний период 2021 г. Отбор проб озерных отложений выполнялся в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01-80 и РД 52.24.609-2013. В наиболее глубоких станциях водоема, определяемых на основе полученных в ходе измерения глубин батиметрических данных (промеры осуществлялись с лодки при помощи лота с храпцом, координаты станций промеров глубин фиксировались GPS-навигатором Garmin CSx 76) отбирали керны донных отложений при помощи гравитационной трубки ГОИН-1. Расположение станций отбора проб приведено на рисунке 2. По результатам полевых исследований отобрано 15 кернов мощностью до 50 см, проанализировано 26 проб поверхностных донных отложений.

Физико-химические исследования донных отложений включали определение следующих показателей: гранулометрический состав (ГОСТ 12536-2014), содержание органического вещества по величине потерь при прокаливании (ПНДФ 16.2.2:2.3:3.32-02), влажность (ГОСТ 5180-2015), плотность (ГОСТ 5182-78), реакция среды (ГОСТ 26423-85), содержание кислотрас-

творимых и подвижных форм тяжелых металлов (ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011), содержание нефтепродуктов (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98).

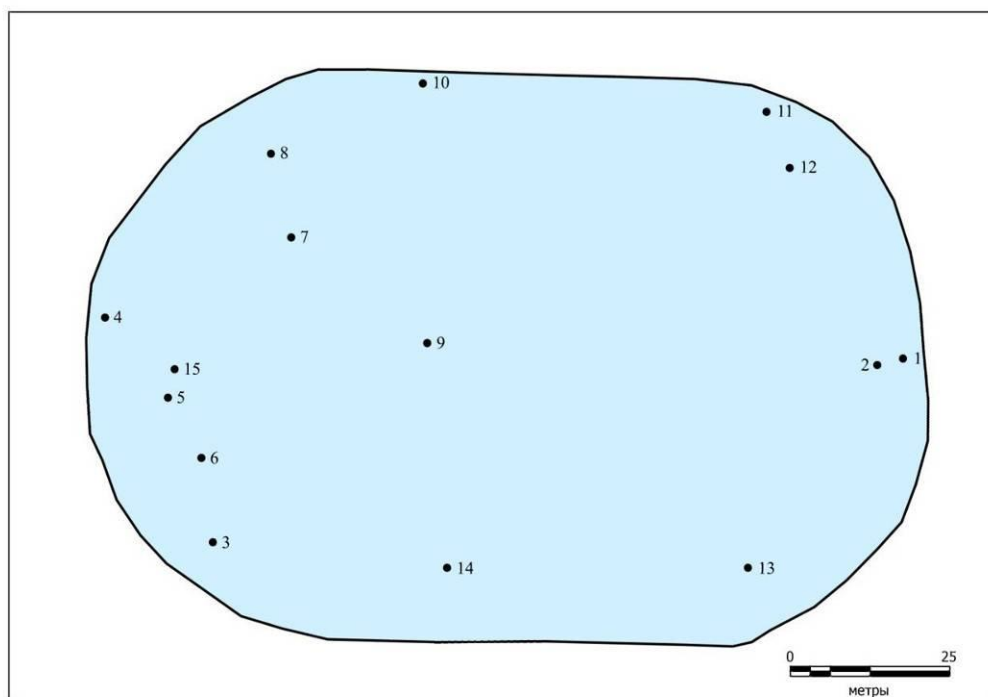


Рис. 2. Карта-схема станций отбора кернов донных отложений озера

Оценка уровня загрязненности донных отложений нефтепродуктами и тяжелыми металлами (ТМ) выполнена в соответствии с Приказом Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан от 27.03.2019 г. № 316-п «Об утверждении региональных нормативов «Фоновое содержание тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан».

Донные отложения оз. Малое Чайковое представлены тонкодисперсными глинистыми илами с содержанием пелитовой фракции от 31 до 75% и органического вещества от 7 до 28%, а также торфогенными илами.

Фракции крупного и среднего песка в составе отложений отмечены только в районе разделяющей озера дамбы. В центральной, южной и восточной частях озера выделяются участки дна, покрытые торфогенными илами с содержанием органического вещества 31–40%. Такой специфический характер донных отложений довольно редко встречается в водоемах Республики Татарстан. Он связан с происхождением Чайковых озер на месте бывших болот, а также с антропогенными преобразованиями их ложа и берегов озера в процессе освоения и обустройства прибрежных территорий. В частности, высокое содержание органики связано с присутствием в отложениях значительного количества разложившихся остатков водно-болотной растительности, а также накопленной за последние два десятилетия отмершей органической массы роголистника, кладофоры и других видов макрофитов. В процессе строительства и обустройства прибрежной зоны в озеро поступило значительное количество почвенно-грунтового материала, осевшего на дно, что

также повлияло на сокращение и так небольших глубин водоема. После реконструкции в 2013 г. берега озера были задернованы, смыв в озеро почвенно-грунтовых частиц прекратился. Последние восемь лет осадконакопление в оз. Малое Чайковое в основном происходит по автохтонному типу за счет отмирающих органических остатков макрофитов и фитопланктона.

Из числа загрязняющих веществ в составе донных отложений оз. Малое Чайковое были определены концентрации нефтепродуктов и ТМ. В соответствии с «Методическими указаниями по осуществлению государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов», оценка степени загрязнения донных отложениях проводится по отношению к их региональным фоновым концентрациям.

Для расчета уровней загрязнения донных отложений оз. Малое Чайковое ТМ и нефтепродуктами использовали их установленные региональные фоновые концентрации применительно к различным типам отложений [4, 5].

Установлено, что в 17 проанализированных пробах донных отложений имеются превышения фонового содержания ТМ. Максимальные значения превышений регионального фона отмечены по Zn (1,4–18,9 раза), Cd (1,6–4,8 раза), Mn (1,3–9,6 раза). Для этих же металлов была характерна и наибольшая частота случаев превышения фона: Mn – 12, Zn – 14, Cd – 11 раз. По остальным металлам кратность превышений фона составила 1,4–2,3. По величине коэффициента загрязнения ТМ донные отложения озера в основном характеризовались как умеренно загрязненные ($K_z < 3$). В ядрах донных отложений, отобранных на станциях 12 и 13 – значительно и высоко загрязненные. Концентрации нефтепродуктов в составе донных отложений озера не превышали установленных фоновых значений. Степень загрязнения донных отложений оз. Малое Чайковое, рассчитываемая как сумма коэффициентов загрязнения отдельных веществ, изменялась от 4,0 до 27,7, что соответствует умеренной-высокой. Для всей массы донных отложений, накопленных в озере, степень их загрязнения в среднем может оцениваться как умеренная ($C_3 = 18,7$).

По результатам грунтовой съемки были выполнены расчеты объемов и массы донных отложений, накопленных в ложе водоема (табл.). В качестве средней величины плотности донных отложений в естественном состоянии принята величина 1,25 т/м³.

Таблица

**Характеристики объема и массы накопленных донных отложений
в оз. Малое Чайковое**

Зона	Мощность, м	Площадь участка, м ²	Объем, м ³	Масса при естественной влажности, т
1	0,2–0,5	3032,8	1516,4	1895,49
2	0–0,2	2717,3	543,5	679,31
3	0	4574,7	0	0
Итого		10324,8	2059,9	2574,8

Суммарный объем донных отложений в оз. Малое Чайковое оценивается величиной 2060 м³, а их масса – 2575 т. В процентном отношении более половины объема отложений при естественной влажности занято водой (57%), поэтому масса сухого вещества озерных осадков также близка к 50% от общей – около 1300 т. Объем накопленных донных отложений составляет 18,8% от объема озера в период межени.

Для экологической реабилитации оз. Малое Чайковое, избавления от избыточного роста зеленых нитчатых водорослей и цветения воды одноклеточными планктонными водорослями в летние месяцы наиболее перспективным является снижение биологической продуктивности озерной экосистемы и реализация комплекса мер по деэвтрофикации озера, направленных на сокращение концентрации биогенных веществ (азота и фосфора) в воде и донных отложениях, а также на ограничение их поступления в водоем извне. Рекомендуются проведение дноуглубительных работ в пределах 20-метровой зоны по периметру водоема, где мощности ила достигают своих максимальных значений – 20 см и более.

Библиографический список

1. Антропогенное воздействие на малые озера / Отв. ред. И. С. Коплан-Дикс, Е. А. Стравинская. Л. : Наука, 1980. 174 с.
2. Россолимо Л. Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. М. : Наука, 1977. 144 с.
3. Инженерные решения по экологической реабилитации малых озер г. Казани / Р. И. Камалов, Р. Я. Дыганова, Р. Н. Апкин, В. Е. Дылевский, В. Н. Шипков // Чистая вода. Казань : сб. трудов VIII междунар. конгресса. Казань : ООО «Новое знание», 2017. С. 130–133.
4. Региональные нормативы «Фоновое содержание нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан» (утв. Приказом Министерства экологии и природных ресурсов РТ 20.02.2020 г.) [Электронный ресурс]. – URL: https://pravo.tatarstan.ru/oiv/min/eco/?npa_id=535231 (дата обращения: 25.10.2023).
5. Региональные нормативы «Фоновое содержание тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан» (утв. Приказом Министерства экологии и природных ресурсов РТ 27.03.2019 г.) [Электронный ресурс]. – URL: https://pravo.tatarstan.ru/file/npa/2019-04/352968/npa_352969.pdf (дата обращения: 25.10.2023).

ФИТОПЛАНКТОН В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВЕЛИКОЙ

Т. В. Дрозденко

Псковский государственный университет, tboichuk@mail.ru

В весенний период 2016–2023 гг. в дельте р. Великой отмечено 320 видовых таксонов фитопланктона из 8 отделов. Планктонная альгофлора характеризовалась как диатомово-хлорофитовая. Изучены количественные характеристики микроводорослей, их видовое разнообразие, установлен трофический статус вод, а также проведены эколого-географический анализ и сапро-

биологический анализ, согласно которому установлен 3 класс качества вод дельты.

Ключевые слова: мониторинг, биоиндикация, альгофлора, фитопланктон, таксономический состав, видовое разнообразие, количественные показатели, сапробность.

Одной из актуальных проблем XXI в. является проблема состояния водных объектов. Река Великая является крупной рекой Псковской области. В месте впадения в Псковско-Чудское озеро р. Великая образует обширную дельту, которая представляет собой природный экотон, соединяющий в себе признаки речной и озерной экосистем. Здесь наблюдается более теплое лето и мягкая зима, что благоприятно сказывается на развитии первичных продуцентов [1]. Изучение фитопланктона дельты р. Великой позволяет выявить современное экологическое состояние дельты и является основой для дальнейших исследований и прогноза возможных изменений водной экосистемы, в частности можно своевременно планировать мероприятия по предотвращению цветения водоемов.

Целью данной работы было исследовать фитопланктон и оценить экологическое состояние дельты р. Великой.

Работы проводились весной с 2016 по 2023 гг. на пяти постоянных станциях дельты р. Великой. Отбор проб фитопланктона и его обработка осуществлялись общепринятыми методами [2]. Разнообразие фитопланктонных сообществ оценивали с помощью индекса Шеннона [3]. Трофический статус акватории устанавливался с помощью индекса трофности Милиус [4]. Индекс сапробности рассчитывали по методу Пантле-Букк [5]. Эколого-географические данные микроводорослей уточняли в ряде монографий [6, 7].

За весенний период 2016–2023 гг. было зарегистрировано 320 видовых таксонов фитопланктона из 8 отделов: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria, Dinophyta, Cryptophyta, Ochrophyta, Euglenophyta, Charophyta. Основу флористического комплекса альгофлоры составляли отделы Bacillariophyta и Chlorophyta. Максимальные значения численности и биомассы фитопланктона зарегистрированы в 2018 г. – 4,14 млн кл./л и 2,3 мг/л. Минимальная численность микроводорослей отмечалась весной 2020 г. и составляла 0,60 млн кл./л, биомасса – весной 2022 г. – 0,20 мг/л.

Значения индекса Шеннона лежали в пределах 2,49–3,64 бит/экз., что говорит о средней сложности структуры фитопланктонных сообществ в весенний период.

Согласно индексу трофности, воды дельты р. Великой относились к мезотрофному типу весной 2016 г. и 2018 г., в остальные годы – к олиготрофному.

Средний индекс сапробности по Пантле-Букк изменялся от 1,90 до 2,21, что соответствует умеренному загрязнению вод (III класс качества). Согласно эколого-географической характеристике весеннего фитопланктона в дельте

доминируют широко распространенные пресноводные планктонные виды микроводорослей, предпочитающие слабощелочные воды.

Библиографический список

1. Дрозденко Т. В. Антал Т. К. Фитопланктон как индикатор качества воды дельты реки Великой (Псковская область) // 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. 200–205.
2. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона : методическое руководство. М. : Университет и школа, 2003. 157 с.
3. 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.
4. 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.
5. Sládeček V. System of water quality from biological point of view // Achieves fur Hydrobiologie – Beiheft Ergebnisse der Limnologie. 1973. Vol. 7. No. 1. P. 1–218.
6. Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив : Pilies Studio, 2006. 498 с.
7. Судницына Д. Н. Альгофлора водоемов Псковской области. Псков : ООО «Логос Плюс», 2012. 224 с.

БИОТЕСТИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД ВО ВРЕМЯ МАССОВОГО РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФУЗОРИЙ

М. А. Сысолятина, Т. И. Кутявина

Вятский государственный университет, kutyavinati@gmail.com

Представлены результаты определения острой токсичности проб воды, отобранных из двух водохранилищ Кировской области во время массового развития фитопланктона. Биотестирование проведено с использованием простейших *Paramecium caudatum* Ehrenberg.

Ключевые слова: водохранилище, цветение воды, токсичность, биотестирование, *Paramecium caudatum*.

Природные поверхностные воды во время массового развития фитопланктона (или «цветения воды»), в том числе токсичных видов цианобактерий (ЦБ), могут оказывать острое и хроническое токсическое действие на гидробионтов. Так, в работе [1] показано, что пробы воды и донных отложений Цимлянского водохранилища, отобранные в отдельные годы, оказывали токсическое действие на водоросли, дафний, парамеций, коловраток и хиромид. При этом было отмечено доминирование токсигенных видов ЦБ в составе фитопланктона при «цветении» Цимлянского водохранилища. При биотестировании проб воды, отобранных из оз. Севан во время его «цветения», отмечено повышение уровня генотоксических и кластогенных эффектов в

опытах с применением двух биотестов (Трад-ВТН и Трад-МЯ) модельного тест-объекта *Tradescantia* (клон 02) [2].

Цель настоящей работы состояла в оценке токсического действия поверхностных вод, отобранных в период массового развития фитопланктона в водохранилищах Кировской области, на простейших *Paramecium caudatum* Ehrenberg.

Воду для биотестирования отбирали из Белохолуницкого и Омутнинского водохранилищ Кировской области. Это крупнейшие искусственно созданные водные объекты региона, используемые местными жителями в культурно-бытовых и рекреационных целях. Верховья водохранилищ заняты естественной растительностью, практически не используются человеком. На берегах вдоль центральных участков объектов исследования располагаются садоводческие общества и лечебно-оздоровительные учреждения, а на берегах вдоль приплотинных участков – жилая застройка, промышленные объекты и автомобильные дороги местного значения.

В составе летнего фитопланктона исследуемых водохранилищ доминируют представители отделов Chlorophyta и Bacillariophyta, а при цветении воды отмечается массовое развитие ЦБ, в том числе потенциально токсичных видов: *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs и *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing [3].

Пробы воды для биотестирования отбирали в 2023 г. в конце июля (в период «цветения» воды) и второй половине августа (после завершения «цветения» воды). В Белохолуницком водохранилище выбрано три пункта наблюдений: в верховье в месте впадения в водохранилище р. Копья (№ 1), на центральном участке рядом с дер. Шитово (№ 2) и у водосброса плотины в г. Белая Холуница (№ 3). В Омутнинском водохранилище выбрано пять пунктов наблюдений: на центральном участке у профилактория (№ 4) и у детского оздоровительного лагеря (№ 5), на приплотинном участке рядом с городским пляжем (№ 6), бывшим детским пляжем на ул. Островского (№ 7) и плотинным водосбросом (№ 8).

Определение острой токсичности проб поверхностных вод проводили с использованием тест-объекта *P. caudatum* в соответствии с методикой измерений ФР.1.39.2015.19242. Данный метод биотестирования вод основан на хемотаксической реакции инфузорий. Согласно ФР.1.39.2015.19242, количественная оценка токсичности выражается в виде индекса токсичности (T), по величине которого анализируемые пробы делятся на три группы: I) допустимая ($0,00 < T \leq 0,40$), II) умеренная ($0,41 < T \leq 0,70$) и III) высокая степень токсичности ($T > 0,71$).

Результаты определения индекса токсичности проанализированных проб воды представлены на рисунках 1 и 2.

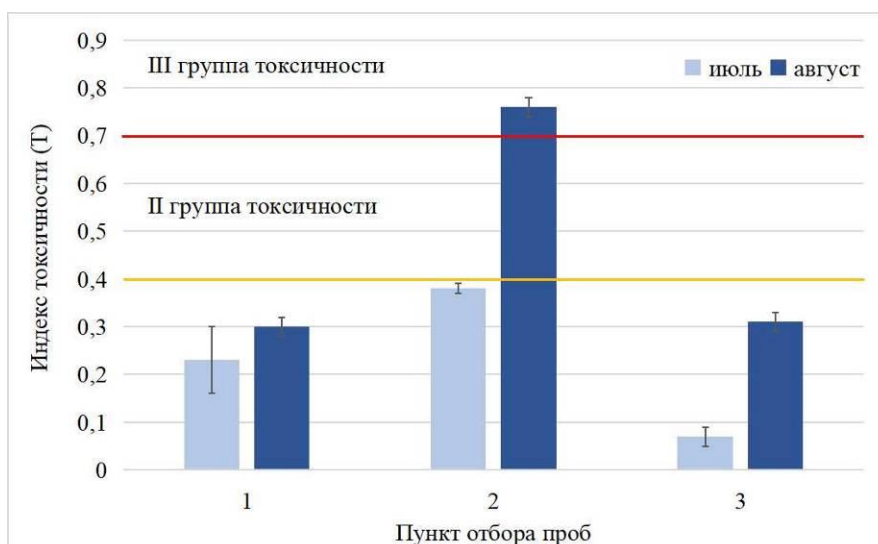


Рис. 1. Результаты биотестирования проб воды из Белохолуницкого водохранилища по реакции *P. caudatum* (описания пунктов отбора проб даны в тексте)

Согласно полученным данным (рис. 1), пробы воды, отобранные в Белохолуницком водохранилище в июле, не оказывали острого токсического действия на инфузорий и соответствовали первой группе токсичности – допустимой. При биотестировании проб воды, отобранных в августе 2023 г., отмечено увеличение значений T на всех пунктах отбора проб с максимумом в пункте № 2 на центральном участке Белохолуницкого водохранилища, где воды характеризовались высокой степенью токсичности по тест-реакции *P. caudatum* (рис. 1). Возможно, увеличение степени токсичности воды связано с отмиранием фитопланктона и последующим выделением в воду токсических веществ. Как известно из литературных данных, разложение отмерших водорослей в придонных слоях воды сопровождается образованием анаэробных зон, где скапливается метан и сероводород, а при заиленном дне могут выделяться меркаптаны, биогенные амины типа трупных ядов, аммиак [4]. На пункте отбора проб № 2 складываются более благоприятные условия для развития фитопланктона по сравнению с верховьем и приплотинным участком Белохолуницкого водохранилища, так как для этого участка характерны небольшие глубины и менее выраженное ветровое перемешивание вод. Соответственно, на центральном участке водохранилища накапливается и в последующем разлагается большая биомасса фитопланктона по сравнению с другими участками акватории.

В Омутнинском водохранилище в июле были отобраны пробы воды только в пункте № 8 на приплотинном участке водоема. Пробы характеризовались умеренной степенью токсичности. Пробы воды, отобранные в августе, отличались по степени токсичности. Так, воды, отобранные в пункте № 4 на центральном участке водохранилища, обладали допустимой степенью токсичности; пробы, отобранные в пунктах № 6 и 7 – умеренной, а в пунктах № 5 и 8 – высокой степенью токсичности (рис. 2).

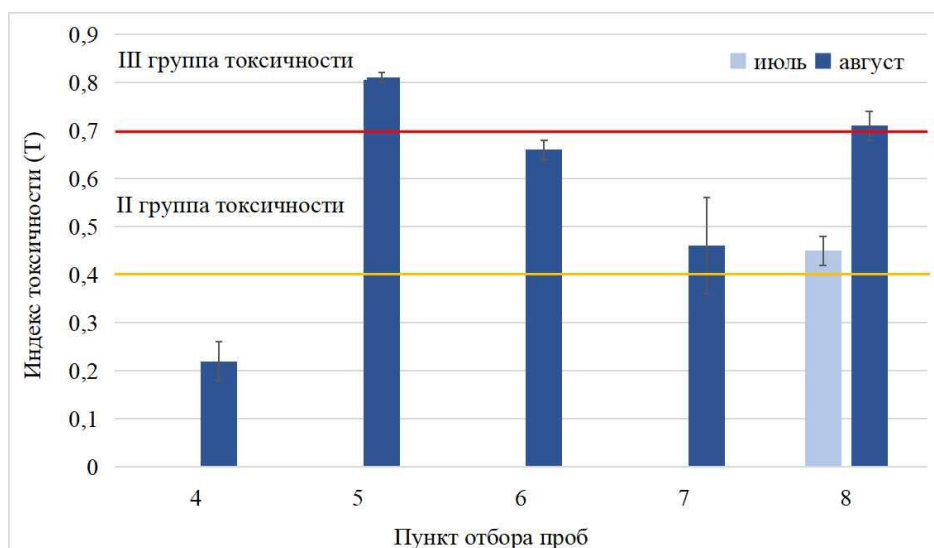


Рис. 2. Результаты биотестирования проб воды из Омуртинского водохранилища по реакции *P. caudatum* (описания пунктов отбора проб даны в тексте)

Мы предполагаем, что причиной токсичности воды в Омуртинском водохранилище, как и в Белохолуницком, могут быть токсичные вещества, выделяемые в воду при разложении отмирающего фитопланктона. Для подтверждения этого предположения необходимо продолжение мониторинговых исследований на акваториях Белохолуницкого и Омуртинского водохранилищ с применением комплекса химических и биологических методов исследования, в том числе биотестирования.

В целом, можно отметить, что воды, отобранные на разных участках Белохолуницкого и Омуртинского водохранилищ в период массового развития фитопланктона в июле, не оказывали острого токсического действия на инфузорий (за исключением пункта № 8). В то же время пробы воды, отобранные после завершения периода «цветения» воды (в августе), обладали умеренной (пункты отбора проб № 6, 7) и высокой степенью токсичности (пункты № 2, 5 и 8), что может быть связано с присутствием в воде токсических веществ, выделяемых при разложении отмирающего фитопланктона. Работы по изучению массового развития фитопланктона, в том числе токсичных цианобактерий, на токсичность природных вод планируется продолжить.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-77-01034).

Библиографический список

1. Мартышева Н. А., Хоружая Т. А. Особенности «цветения» воды Цимлянского водохранилища сине-зелёными микроводорослями // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2017. № 2 (194). С. 136–141. doi: 10.23683/0321-3005-2017-2-136-141
2. Биотестирование водных проб оз. Севан в период цветения воды и после обработки цеолитом с применением модельного тест-объекта / Р. М. Арутюнян, Р. Э. Авалян, А. Л. Атоянц, Э. А. Агаджанян, Б. К. Габриелян // Доклады Национальной академии наук Армении. 2021. Т. 121. № 4. С. 294–301.

3. Кутявина Т. И., Кондакова Л. В. Влияние антропогенной нагрузки на видовое разнообразие фитопланктона в водохранилищах Кировской области // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы : сб. материалов VIII Всерос. конф. по водной экотоксикологии / отв. ред. И. И. Томилина. Ярославль : Филигрань, 2023. С. 155–157.

4. Опасность «цветения» Цимлянского водохранилища / А. М. Никаноров, Т. А. Хоружая, Л. И. Минина, Н. А. Мартышева // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2011. № 2. С. 70–74.

УСЛОВНО-ПАТОГЕННЫЕ БАКТЕРИИ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАНАЛИЗАЦИИ РЯДА ГОРОДОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М. А. Морозова¹, Д. А. Седова^{1,2}

¹ ФБУН «Ростовский НИИ микробиологии и паразитологии»

Роспотребнадзора,

² Южный федеральный университет, darsedova@sfedu.ru

В статье представлены результаты исследования распространенности в сточных водах условно-патогенных бактерий рода *Aeromonas* и *Pseudomonas aeruginosa*, не включенных в нормативы для выпусков сточных вод в поверхностные водные объекты. Приведены данные по оценке их чувствительности к антибактериальным препаратам диско-диффузионным методом. Показано, что изоляты синегнойных палочек проявляли абсолютную чувствительность к аминогликозидам, фторхинолонам и цефалоспорином III–IV поколения – цефтазидиму, аэромонады к гентамицину и левофлоксацину. Максимальные показатели резистентности среди изученных изолятов бактерий отмечены к хлорамфениколу и пенициллинам, в том числе к ингибиторзащищенным пенициллинам.

Ключевые слова: антибиотикорезистентность, антибактериальные препараты, аэромонады, *Pseudomonas aeruginosa*, сточные воды.

Городские очистные сооружения канализации (ОСК) обеспечивают логарифмическое снижение численности микроорганизмов, однако сточные воды, прошедшие очистку, остаются источником поступления в водную экосистему бактериальных популяций с множественной лекарственной устойчивостью [1]. При оптимальном функционировании комплекса обеззараживания на очистных сооружениях качество сточной воды по контролируемым бактериологическим показателям (общие и обобщённые колиформные бактерии, *E. coli*, сальмонеллы) соответствует нормативным документам, применяемым к обеззараженным сточным водам, готовым к сбросу в поверхностные водоёмы [2]. В ряде случаев бактерии, не включенные в гигиенические нормативы к оценке безопасности водных объектов и сточных вод, сохраняют жизнеспособность при процессах обеззараживания в большей степени, чем нормируемые бактерии кишечной группы. По мнению некоторых исследователей, важ-

ная роль при оценке эффективности обеззараживающих средств должна быть отведена показателю *Pseudomonas aeruginosa*, так как эти бактерии проявляют иногда большую устойчивость к процессам обеззараживания по сравнению с показателями фекального загрязнения [3]. Трудности обеззараживания *P. aeruginosa* зачастую связаны с их способностью сохраняться в защитных нишах систем водоснабжения (фланцы, соединения труб, прокладки), а затем при благоприятных условиях (после снижения уровня обеззараживающего агента) размножаться в отсутствие конкурентной микрофлоры. Часто наблюдается реактивация *P. aeruginosa* после обеззараживания воды [4].

Одними из преобладающих бактерий в обеззараженных сточных водах являются аэромонады [5], которые проявляют умеренную устойчивость к обработке хлором [6]. Бактерии рода *Aeromonas* широко распространены в пресных и солоноватых водоемах, а также в сточных водах, канализационных стоках, в воде централизованного и сельскохозяйственного назначения. Они вызывают широкий спектр заболеваний у холоднокровных и теплокровных животных, от рыб до людей [7–9] с различной степенью тяжести. В настоящее время известно более 30 видов аэромонад [10, 11], из которых заболевания у человека вызывают в основном четыре вида: *Aeromonas hydrophila*, *A. veronii*, *A. caviae* и *A. dhakensis*. Благодаря высокому содержанию в водных экосистемах и различным механизмам устойчивости к антибиотикам этот род можно считать бактериальным индикатором распространения антибиотикорезистентности в водной среде, он может служить источником генов устойчивости к антибиотикам, способным передаваться другим патогенным бактериям посредством горизонтального переноса [1, 12].

Цель исследования – оценить уровень содержания и антибиотикорезистентность бактерий рода *Aeromonas* и *Pseudomonas aeruginosa* в сточных водах перед выпуском в поверхностные водоемы.

Материалом для исследования служили пробы сточной воды до и после поступления на очистные сооружения шести ОСК ряда городов Ростовской области в течение трёхлетнего периода (2021–2023 гг.), включающие обнаружение *Pseudomonas aeruginosa* и бактерий рода *Aeromonas*, их идентификацию с применением метода MALDI-TOF, определение их биохимических свойств и чувствительности к 14 антибактериальным препаратам 4 функциональных классов (β -лактамы, аминогликозиды, фторхинолоны, амфениколы).

Количественный анализ исследуемых условно патогенных бактерий (УПБ) определяли титрационным методом с использованием неингибиторных и умеренно ингибиторных сред подращивания в соответствии с Методическими рекомендациями [13, 14]. Для выделения аэромонад использовали запатентованную среду накопления [15] и селективную среду *Aeromonas Isolation Medium Base* (HiMedia, Индия).

Чувствительность бактерий к АБП определяли диско-диффузионным методом с использованием питательного агара Muller Hinton в соответствии с требованиями МУК 4.2.1980-04 [16] и рекомендациями EUCAST (Ver. 4.0 2014). Для интерпретации результатов чувствительности к АМП сем. *Aer-*

omonadaceae следовали рекомендациям Института клинических и лабораторных стандартов (CLSI) [17].

Нами установлено, что обеззараживание сточных вод в отношении представителей рода *Aeromonas* и *Pseudomonas aeruginosa* не во всех случаях эффективно, что может быть связано с временными нарушениями работы одного или нескольких звеньев системы очистки ОСК, а также с появлением хлоррезистентных штаммов. При этом комплекс очистки сточных вод оказался более результативным относительно синегнойных палочек, их количество уменьшилось в 100 раз или полностью инактивировалось, а численность аэромонад колебалась в широких пределах от 230 до $2,4 \cdot 10^7$ КОЕ/100 мл (рис. 1).

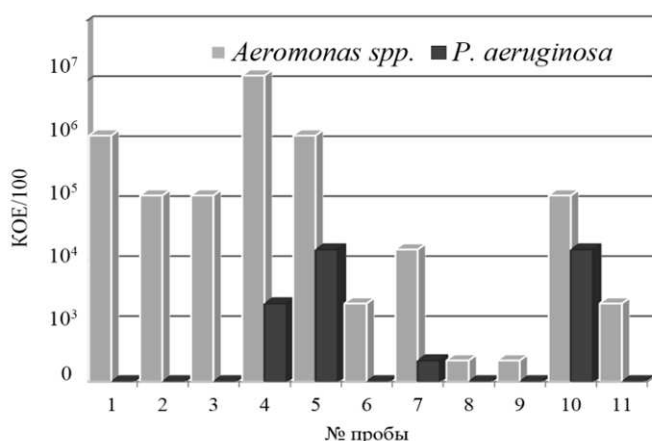


Рис. 1. Численность бактерий (КОЕ/100 мл) *Aeromonas* spp. и *P. aeruginosa* в сточных водах, прошедших комплекс очистки на ОСК ряда городов Ростовской области

Следует обратить внимание на видовое разнообразие аэромонад в сточных водах. Их таксономический состав был представлен 9 видами с доминированием в структуре рода *A. veronii* (49,5%) (рис. 2).

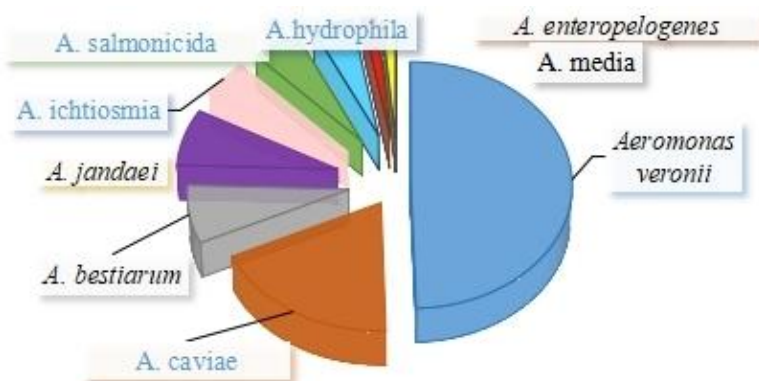


Рис. 2. Таксономический состав бактерий рода *Aeromonas* в сточных водах

На определение чувствительности к АБП было протестировано 263 изолята, из которых 178 – бактерий семейства сем. Aeromonadaceae и 85 – *P. aeruginosa*. Исследованиями установлено, что максимальные показатели

резистентности среди изученных изолятов УПБ отмечены к хлорамфениколу и пенициллинам. Следует подчеркнуть устойчивость этих бактерий к ингибиторзащищенным пенициллинам, *P. aeruginosa* к амоксициллин-сульбактаму, *Aeromonas* spp. – амоксициллин-клавунату. Кроме того, среди аэромонад более 60% изолятов показали устойчивость одновременно к двум АБП из группы пенициллинов – ампициллину и амоксициллин-клавунату.

Абсолютная чувствительность *P. aeruginosa* установлена к аминогликозидам, фторхинолонам и цефалоспоринов III–IV поколения – цефтазидиму (рис. 3), *Aeromonas* spp. – к гентамицину и левофлоксацину (рис. 4).

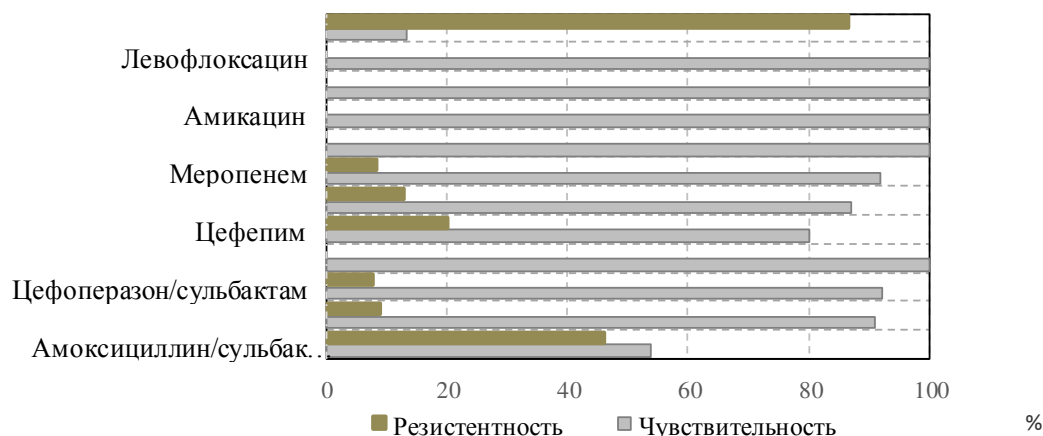


Рис. 3. Чувствительность *P. aeruginosa*, выделенных из сточных вод к АБП (%)

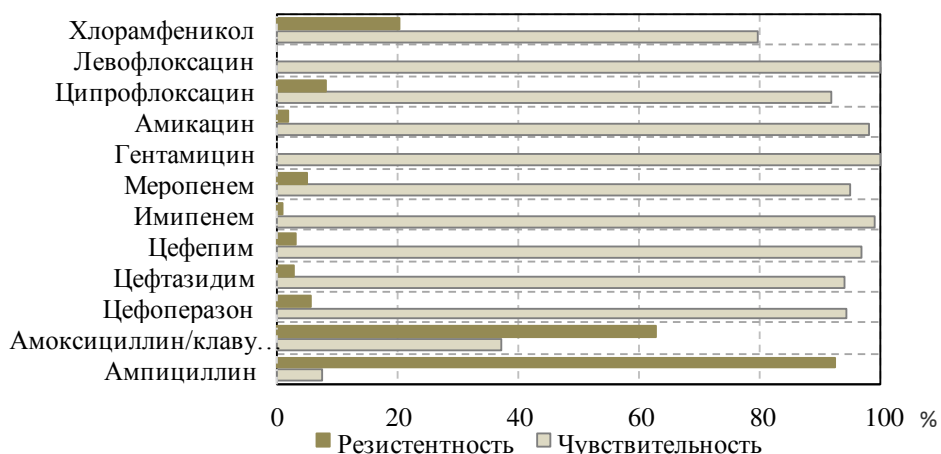


Рис. 4. Чувствительность аэромонад, выделенных из сточных вод к АБП (%)

Таким образом, обеззараживание сточных вод в отношении *Pseudomonas aeruginosa* и *Aeromonas* spp. не во всех случаях эффективно, что может быть связано с временными нарушениями работы одного или нескольких звеньев системы очистки. Сточные воды остаются резервуаром антибиотикорезистентных аэромонад и синегнойных палочек, которые могут представлять угрозу для окружающей среды и здоровья населения. В целом среди

изолятов преобладала устойчивость к хлорамфениколу и беталактамным препаратам с наиболее высоким уровнем резистентности к пенициллинам, включая ингибиторзащищенные пенициллины.

Библиографический список

1. Prevalence of potentially pathogenic antibiotic-resistant *Aeromonas* spp. in treated urban wastewater effluents versus recipient riverine populations: a 3-year comparative study / T. Skwor, S. Stringer, J. Haggerty, J. Johnson, S. Duhr, M. Johnson, M. Seckinger, M. Stemme // *Applied and Environmental Microbiology*. 2020. Vol. 86. No. 3. P. e02053-19. doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.02053-19>
2. Оценка барьерной роли очистных сооружений в обеззараживании сточных вод в отношении *E. coli*, обобщённых и общих колиформных бактерий / А. В. Загайнова, П. В. Журавлёв, М. А. Морозова, Д. А. Седова, О. В. Грицюк, М. Н. Панькова, З. Е. Федец // *Гигиена и санитария*. 2022. № 5. С. 479–486. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-5-479-486
3. Обоснование значимости показателя *Pseudomonas aeruginosa* при оценке качества питьевой воды / Л. В. Иванова, Т. З. Артемова, Е. К. Гипп, А. В. Загайнова, Т. Н. Максимкина, А. В. Красняк, С. С. Корнейчук // *Гигиена и санитария*. 2013. № 4. С. 29–32.
4. Проблема реактивации микроорганизмов в оценке эффективности обеззараживания воды / Т. З. Артемова, А. Е. Недачин, З. И. Жолдакова, О. О. Синицина, Е. К. Гипп, Н. Н. Буторина // *Гигиена и санитария*. 2010. № 1. С. 17–20.
5. Virulence and antibiotic susceptibility of *Aeromonas* spp. isolated from drinking water / D. D. Scoaris, J. Colacite, C. V. Nakamura, T. Ueda-Nakamura, B. A. de Abreu, B. P. Dias // *Antonie Van Leeuwenhoek*. 2008. Vol. 93. No. 1–2. P. 111–122. doi: 10.1007/s10482-007-9185-z
6. Skwor T., Kralova S. *Aeromonas* // *Food microbiology: fundamentals and frontiers* / Eds. M. Doyle, F. Diez-Gonzalez, C. Hill. Washington, DC : ASM Press, 2019. P. 415–436.
7. Janda J. M., Abbott S. L. The genus *Aeromonas*: taxonomy, pathogenicity, and infection // *Clin Microbiol Rev*. 2010. Vol. 23. P. 35–73.
8. Морозова М. А., Абросимова К. С. Аэромонады прудовых хозяйств юга России их влияние на обмен веществ карпа // *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2020. № 2. С. 54–59.
9. Abrosimova K. S., Abrosimova N. A., Morozova M. A. Processes of lipid peroxidation in carp affected by *Aeromonas* disease // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 666. No. 4. Article No. 042045. doi: 10.1088/1755-1315/666/4/042045
10. Parte A. C. LPSN – list of prokaryotic names with standing in nomenclature (bacterio.net), 20 years on // *J. Syst Evol Microbiol*. 2018. Vol. 68. No. 6. P. 1825–1829. doi: 10.1099/ijsem.0.002786
11. Морозова М. А., Нейдорф А. Р. Методы детекции аэромонад из водных объектов // *Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса : сб. науч. трудов XV Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону : ДГТУ-принт, 2022. С. 144–148.*
12. Broad diversity of conjugative plasmids in integron-carrying bacteria from wastewater environments / A. Moura, C. Oliveira, I. Henriques, K. Smalla, A. Correia // *FEMS Microbiol Lett*. 2012. Vol. 330. P. 157–164.
13. МР 01-19/98-17 «Усовершенствованный метод обнаружения энтеробактерий и неферментирующих грамотрицательных микроорганизмов в объектах водной среды». Методические рекомендации. Ростов-на-Дону, 1996.
14. Методы исследования объектов окружающей среды и патологического материала на аэромонады : метод. рекомендации / Сост.: Г. П. Калина, Т. И. Графова. М. : М-во здравоохранения РСФСР, 1980. 11 с.
15. Патент RU 2 795 907C1 Российская Федерация, СПК С12Q 1/00 (2023.02). Селективная питательная среда для выделения аэромонад из водных объектов:

№ 2022129987: заявл 18.11.2022: опубл. 15.05.2023 / М. А. Морозова, П. В. Журавлев, Д. А. Седова, Т. И. Твердохлебова. Заявитель ФБУН РостовНИИ микробиологии и паразитологии. 7 с.

16. МУК 4.2.1890-04. 4.2. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. Методические указания (утв. Минздравом России 04.03.2004) [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293754/4293754463.pdf> (дата обращения: 25.10.2023).

17. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing: twenty first informational supplement (CLSI). M100-S21. Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne, PA. 2011. Vol. 31. No. 1. P. 1–172 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.treata.academy/wp-content/uploads/2021/03/CLSI-31-2021.pdf> (дата обращения: 25.10.2023).

ИЗУЧЕНИЕ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИДОВ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

А. Э. Коротаева, М. А. Пашкевич

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Korotaeva_AE@pers.spmi.ru*

В статье представлены результаты экспериментального исследования по снижению концентрации азотных соединений и металлов в карьерных водах в смоделированной системе очистки вод. Изучалось совместное применение видов высшей и низшей водной растительности с точки зрения эффективного удаления загрязняющих веществ из сточных вод. В результате исследования были выявлены части высшей водной растительности, в которых происходило наибольшее накопление поллютантов, а также отмечено положительное влияние низшей водной растительности на эффективность снижения концентрации загрязняющих веществ в системе.

Ключевые слова: биоремедиация, фиторемедиация, макрофиты, микроводоросли, металлы, азотные соединения, карьерные воды.

Отсутствие очистки сточных вод предприятий перед их сбросом в водные объекты становится все более актуальной проблемой в связи с увеличением темпов развития промышленности. К основным загрязняющим веществам, поступающим в окружающую среду, можно отнести взвешенные вещества, биогенные соединения и металлы. Их источниками поступления являются предприятия горной, нефтяной, химической промышленности и сельское хозяйство. Высокая концентрация в сбрасываемых водах биогенных соединений ведет к интенсификации процесса эвтрофирования водных объектов [1], а высокая концентрация металлов – к отравлению и гибели живых организмов в связи с накоплением в пищевых цепочках [2, 3].

Традиционными методами очистки сточных вод предприятий от загрязняющих веществ считаются физико-химические, химические и биологические методы. Большинство из них характеризуются значительными капиталь-

ными и эксплуатационными затратами и не подходят для очистки большого объема сточных вод, образующихся в результате деятельности горнопромышленных предприятий [4].

Альтернативным методом очистки сточных вод является сконструированная система водно-болотных угодий, которая совмещает в себе физико-химические и биологические процессы очистки. Непосредственное снижение концентрации загрязнителей в такой системе происходит в результате процесса фиторемедиации, который включает в себя механизмы фитоаккумуляции, фитостабилизации, фитодегградации и фитоэкстракции (рис. 1) [5–7].

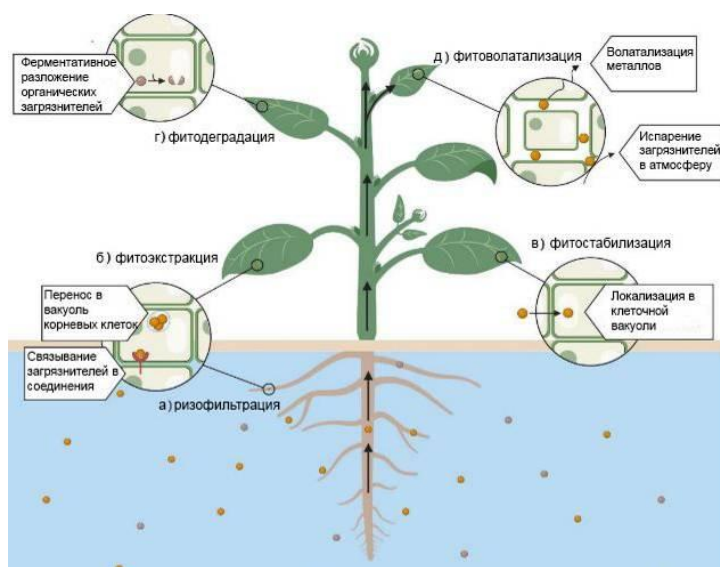


Рис. 1. Типы фиторемедиации сточных вод [8]

Для изучения совместного использования видов высшей и низшей водной растительности на базе Научного центра «Экосистема» Санкт-Петербургского горного университета была смоделирована установка по типу системы сконструированных водно-болотных угодий (рис. 2), где осуществлялась очистка модельного раствора карьерных вод горнопромышленного предприятия. Применялись следующие виды растений: рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), частуха обыкновенная (*Alisma plantago-aquatica* L.), ситник членистый (*Juncus articulatus* L.) и штамм микроводоросли *Chlorella* sp.

Очистка модельного раствора происходила в течение нескольких циклов, длящихся 3–4 дня. После каждого цикла очистки осуществлялся отбор проб модельного раствора карьерных вод для оценки снижения концентрации загрязняющих веществ. Кроме того, до и после экспериментального исследования отбирались экземпляры растений с целью определения концентрации загрязнителей в тканях и динамики их накопления.

После завершения исследования было отмечено возрастание концентрации нитратного азота и металлов (Mo, Zn, Cu, Mn и Fe) в тканях растений, на основе чего выделены растения-гипераккумуляторы по цинку, меди и марганцу. Кроме того, была произведена оценка влияния вносимого штамма микроводоросли на увеличение эффективности очистки модельного раствора карьерных вод.

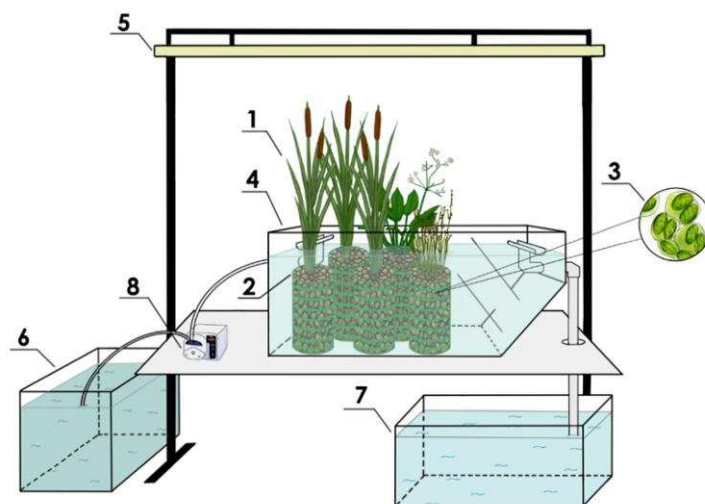


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

- 1 – высшая водная растительность; 2 – загрузка; 3 – низшая водная растительность; 4 – резервуар очистки; 5 – лампа; 6 – резервуар с модельным раствором; 7 – резервуар с очищенным раствором; 8 – перистальтический насос

В результате проведенного исследования была доказана эффективность смоделированной системы очистки карьерных вод. Такая система позволяет снижать концентрацию аммонийного и нитритного азота, а также железа и марганца в сточных водах предприятий до нормативных значений, что позволяет снизить их негативное воздействие на окружающую среду. Данный факт позволяет рассматривать систему сконструированных водно-болотных угодий в качестве потенциального метода очистки. Однако, перед ее внедрением необходимо проводить ее адаптацию под конкретные условия и требования предприятия.

Библиографический список

1. Кутявина Т. И., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я. Определение трофического статуса водоёма и пространственного распределения водной растительности по интегральным показателям // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 42–46. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-042-046
2. Nabi M. Heavy metals accumulation in aquatic macrophytes from an urban lake in Kashmir Himalaya, India // Environ. Nanotechnology, Monit. Manag. 2021. Vol. 16. Article No. 100509. doi: 10.1016/j.enmm.2021.100509
3. Черная Л. В., Ковальчук Л. А., Микшевич Н. В. Особенности биоаккумуляции тяжёлых металлов в тканях большой ложноконской пиявки *Haemopis sanguisuga* L. в водных экосистемах Урала // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 68–74. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-068-074
4. Phytoremediation of heavy metals: an indispensable contrivance in green remediation technology / Sabreena, S. Hassan, S. A. Bhat, V. Kumar, B. A. Ganai, F. Ameen // Plants. 2022. Vol. 11. Article No. 1255. doi: 10.3390/plants11091255
5. Phytoremediation of heavy metals extracted from soil and aquatic environments: current advances as well as emerging trends / R. K. Verma, M. S. Sankhla, E. B. Jadhav, K. Parihar,

K. K. Awasthi // *Biointerface Res. Appl. Chem.* 2021. Vol. 12. No. 4. P. 5486–5509. doi: 10.33263/BRIAC124.54865509

6. Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. and their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment / K. Peng, C. Luo, L. Lou, X. Li, Z. Shen // *Sci. Total Environ.* 2008. Vol. 392. No. 1. P. 22–29. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.11.032

7. Nedjimi B. Phytoremediation: a sustainable environmental technology for heavy metals decontamination // *SN Appl. Sci.* Springer Nature. 2021. Vol. 3. Article No. 286. doi: 10.1007/s42452-021-04301-4

8. Advances and applications of water phytoremediation: a potential biotechnological approach for the treatment of heavy metals from contaminated water / C. R. Delgado-González, A. Madariaga-Navarrete, J. M. Fernández-Cortés, M. Islas-Pelcastre, G. Oza, H. M. N. Iqbal, A. Sharma // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021. Vol. 18. Article No. 5215. doi: 10.3390/ijerph18105215

ИММОБИЛИЗАЦИЯ ТИРОЗИНАЗЫ В КОМПОЗИТНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛА В СТОЧНЫХ ВОДАХ

А. С. Харькова, Т. В. Лаврова

*Тулский государственный университет,
Anyuta_Zaytseva@mail.ru, lavrova0000@yandex.ru*

В статье приведены результаты исследования по иммобилизации фермента тирозиназы на графито-пастовом электроде с помощью композитного материала на основе углеродных нанотрубок и модифицированного сафранином бычьего сывороточного альбумина (БСА). В результате апробации тест-системы на образцах фенола установлено, что стандартное отклонение серии 14 последовательных аналитических сигналов составляет 10%, долговременная стабильность – 22 суток. Нижняя граница определяемых концентраций фенола ($0,5 \text{ мг/дм}^3$) позволяет проводить мониторинг качества сточных вод централизованных систем водоотведения.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, редокс-активный полимер, сафранин, бычий сывороточный альбумин, экспресс-анализ, фенол.

В лабораториях природоохранного профиля содержание токсичных фенолов – «фенольный индекс» – определяют по стандартным методикам с помощью фотометров (ПНД Ф 14.1.2:1.105-97) и флуориметров (МУК 4.1.1263-03), продолжительность анализа составляет около 2 часов. Основным недостатком указанных методик – сложная пробоподготовка, включающая стадии концентрирования определяемого вещества, что связано с низкой чувствительностью указанных методов анализа. Продолжительность анализа составляет 2 часа и требует большого расхода реагентов, что также оказывает существенную нагрузку на окружающую среду.

Таким образом, основной задачей при разработке тест-систем определения фенола является увеличение чувствительности определения, что избавит от сложной пробоподготовки и сократит время анализа.

Биосенсорный метод детекции фенола является достаточно востребованной технологией, так как подобные приборы позволяют проводить быстрый, высокочувствительный мониторинг состояния окружающей среды в полевых условиях [1]. Существует два основных направления развития биосенсоров для определения фенола и фенольного индекса в водных объектах: разработка ферментных [2] и микробных тест-систем [3]. Ферментные биосенсоры обладают высокой селективностью определения фенола, за счет использования иммобилизованных специфических ферментов, например, тирозиназы, фенолгидроксилазы, лакказы. Основным недостатком ферментных биосенсоров для детекции фенола является низкая стабильность аналитического сигнала из-за инактивации биоматериала метаболитами реакции или другими поллютантами, присутствующими в пробе, кроме того, зачастую ферменты характеризуются узким температурным оптимумом, что оказывает существенное влияние на генерируемый аналитический сигнал. Эффективным подходом к решению данной задачи является использование наноматериалов совместно с редокс-активными полимерами для более стабильной и эффективной иммобилизации ферментов.

Цель данной работы – оценить возможность применения фермента тирозиназы, иммобилизованного в композит, для экспресс-определения содержания фенола в водных средах. Биосенсор содержит заполненную натрий-калий фосфатным буферным раствором $\text{pH}=6,8$ ($33 \text{ мМ } \text{KН}_2\text{PО}_4 + 33 \text{ мМ } \text{Na}_2\text{HPO}_4$) электрохимическую ячейку с погруженными хлоридсеребрянным электродом сравнения и рабочим электродом, содержащим иммобилизованный фермент. За аналитический сигнал (или ответ биосенсора) принимали изменение силы тока в результате введения раствора фенола. Изменение силы тока связано с процессами, происходящими на рабочем электроде. Фенол окисляется ферментом тирозиназой с выделением электронов, они в свою очередь восстанавливают электроактивный компонент (сафранин) редокс-полимера. Затем электроны поступают на электрод, при этом сафранин переходит в окисленную форму, после чего восстанавливается ферментом. При модификации электрода редокс-активным полимером с использованием углеродных нанотрубок (УНТ) увеличивается эффективная площадь поверхности электрода. Помимо этого, нанотрубки выполняют роль мостика между ковалентно-связанными с биополимером молекулами медиатора, что способствует увеличению скорости переноса электронов.

Стабильность аналитической системы оценивали с помощью относительного стандартного отклонения аналитического сигнала 14 последовательных измерений $10 \text{ мкл } 0,1\text{М}$ раствора фенола: операционная стабильность биосенсора составила 10%. Стабильность работы при эксплуатации биосенсора оценивали ежедневным измерением аналитического сигнала при введении раствора фенола (рис. А). Время, в течение которого величина аналити-

ческого сигнала составляет не менее 50%, – долговременная стабильность, для исследуемой системы она составила 22 суток.

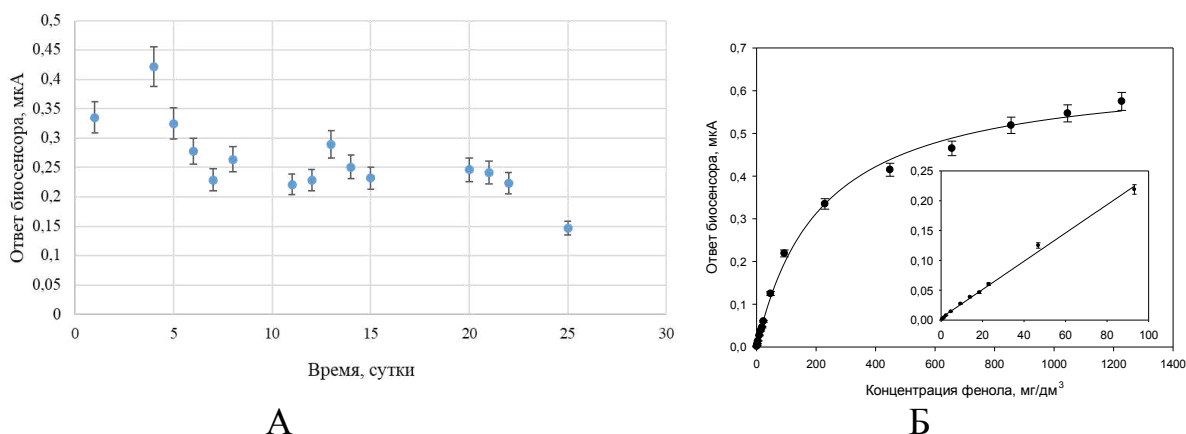


Рис. Характеристики биосенсора. А. Долговременная стабильность. Б. Градуировочная зависимость

Аналитический потенциал исследуемой системы оценивали с помощью зависимости ответа биосенсора от концентрации фенола (рис. Б), которую аппроксимировали уравнением гиперболы в рамках ферментативной кинетики (уравнение Михаэлиса-Ментен). Линейный диапазон определения фенола с помощью биосенсора составил от 0,5 мг/л до 220 мг/л. Система апробирована на модельном образце – природной родниковой воде, в которую добавляли фенол, концентрация которого в конечном растворе 40 мг/л. Найденная концентрация фенола с помощью биосенсора составила 38 ± 1 мг/л. Таким образом, система включающая фермент, иммобилизованный с помощью композитного материала на основе углеродных нанотрубок и модифицированного сафранином БСА, может быть полезна для проведения мониторинга качества сточных вод централизованных систем водоотведения, для которых установлена предельно-допустимая концентрация суммы фенолов – 5 мг/дм^3 [4].

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук, номер гранта № МК-4815.2022.1.4.

Библиографический список

1. Arfin T., Sonawane K., Tarannum A. Review on detection of phenol in water // Advanced Materials Letters. 2019. Vol. 10. No. 11. P. 753–785. doi: 10.5185/amlett.2019.0036
2. Das B., Patra S. Multisubstrate specific flavin containing monooxygenase from *Chlorella pyrenoidosa* with potential application for phenolic wastewater remediation and biosensor application // Environmental Technology. 2018. Vol. 39. No. 16. P. 2073–2089. doi: 10.1080/09593330.2017.1349838
3. Direct detection of phenol using a new bacterial strain-based conductometric biosensor / N. Kolahchi, M. Braiek, G. Ebrahimipour, S. O. Ranaei-Siadat, F. Lagarde, N. Jaffrezic-Renault // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2018. Vol. 6. No. 1. P. 478–484. doi: 10.1016/j.jece.2017.12.023
4. Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 30.11.2021) «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изме-

нений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». Приложение № 5 к Правилам холодного водоснабжения и водоотведения. [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/70427212/?ysclid=lpb08ys8ci409081378> (дата обращения: 20.10.2023).

МАКРОМАРКЕРЫ АНТОГЕНЕЗА В ДИАГНОСТИКЕ ПРИРОДНЫХ СРЕД ДОНБАССА

А. И. Сафонов

*Донецкий государственный университет,
andrey_safonov@mail.ru*

По показателям структурной разнокачественности растений (раздел о развитии цветка – антогенез) были выявлены некоторые закономерности для регистрируемых биогеохимических провинций в Донбассе. Атипичные проявления строения цветка – макромаркеры полевой диагностики – в условиях антропогенного геохимического контраста сопряжены также с системой приспособительных реакций растительного организма (стратегий на индивидуальном уровне), направленных на выживание.

Ключевые слова: фитоиндикация, тератогенез, Донбасс, экологический мониторинг, биодиагностика, строение цветка.

Классическая ботаника постулирует консерватизм генеративных органов и микроструктур как совокупность признаков, определяющих морфологию таксона [1], хотя в эколого-ботанических разработках по модификациям и пластичности растительных организмов выделяют прикладные аспекты в связке структур и функций, а также структур и характеристик среды [2, 3], что напрямую формирует подход диагностического значения. Такой принцип важен для реализации программ экологического мониторинга в регионах с высоким уровнем трансформации природных и природно-техногенных систем, например, в современных условиях Донбасса (Северного Приазовья, Центрального Донбасса), когда к имеющимся техногенным импактам добавился и фактор полемостресса – проведения военных операций.

Цель работы – на основании проводимой комплексной фитодиагностики экотопов в Донбассе выделить и структурно продемонстрировать наиболее информативные признаки в антогенезе (развитии структур цветка), сопряженные с регистрируемыми геохимическими аномалиями региона.

Работа является продолжением анализа морфотипических отклонений в строении растений-индикаторов, сформированных преимущественно в неблагоприятных условиях для роста и развития [4, 5], опирается на уже полученные данные об актуальном геохимическом контрасте в точках мониторинга [6, 7] и некоторые данные о репродуктивных характеристиках видов в неотехногенных условиях [8] и искусственных ценозах [9]. Эксперимент выпол-

нен в контексте методического подхода в изучении экологической пластичности генеративных параметров растений [10, 11].

Признаки, устанавливаемые в полевых условиях по визуальным характеристикам, названы макромаркерами, а в контексте анализа развития цветка – макромаркерами антогенеза. В большинстве случаев это вынужденная мера сбора информации в создавшихся условиях материально-технического оснащения кафедры ботаники и экологии Донецкого государственного университета. Однако, этот метод (при использовании статистического ряда для 113 точек сбора и 3-млн-информационном поле значений (по ГИС фиксации) показал свою информативность на морфологическом уровне.

Поскольку цветок тест-видов (проходящих процедуру специального выращивания в мониторинговых точках) для большинства используемых видов фитоиндикационной значимости является доступным макромаркером, то его геометрия, пространственная организация и численно-вариативные данные составляющих структур также в определенной степени сопряжены с процессами индикационного морфогенеза, индуцируемого условиями геохимического контраста, характерного для центральной части Донбасса и усиливающегося в условиях активных боевых действий в регионе.

Результаты геометрических вариаций по строению и взаимному расположению частей цветка представителей отдельных таксонов на уровне рода продемонстрированы на рисунке. Диаграммы составлены в норме и патологии – по локализации преобразований тератологических проявлений *Euforbia* (а) и *Geranium* (б). Обозначены также специфические геохимические провинции для установленных тенденций в строении цветка.

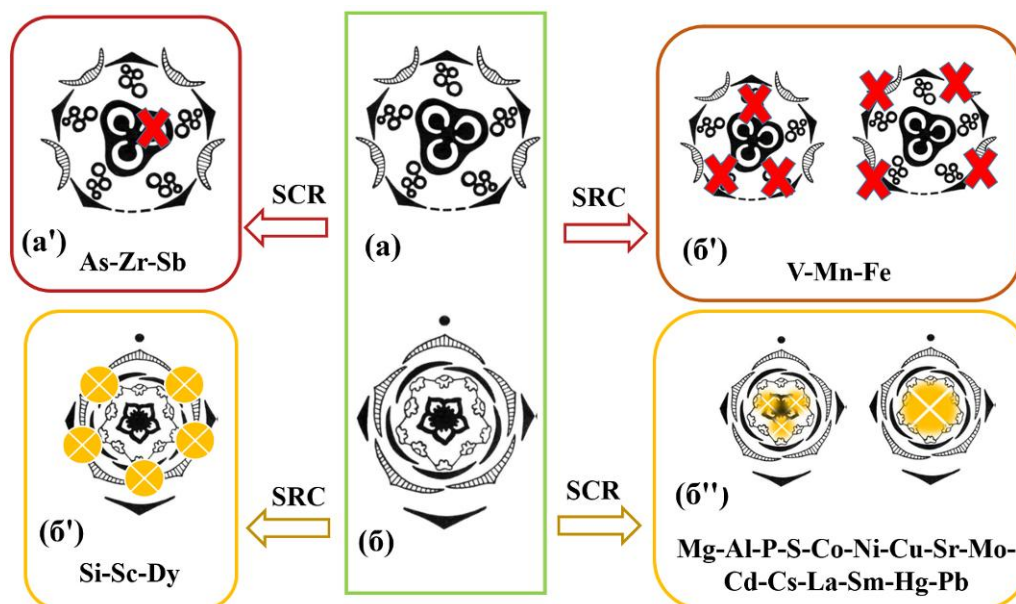


Рис. Векторы трансформации жизненных стратегий видов рода *Euforbia* (а) и *Geranium* (б) по критерию антогенетических преобразований в сопряженных процессах геохимического контраста; SCR (виолентизация) и SRC (эксплеренция) в группах загрязнения природных геосистем Донбасса

В условиях виолентизации выпадают пестичные (эмбриональные) структуры, что уменьшает плодовитость по количеству, но во многом обеспечивает качество не элиминированных участков, тогда как эксплерентный тип проявляется по деградационным процессам в околоцветнике и тычиночных кругах, наблюдается дистопия в архитектонике венчика.

Модельными объектами фитомониторинга в Донбассе являются *Berteroa incana* (L.) DC., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Centaurea diffusa* Lam., *Cichorium intybus* L., *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Echium vulgare* L., *Plantago lanceolata* L., *Plantago major* L., *Reseda lutea* L., *Senecio vulgaris* L., *Tanacetum vulgare* L., *Tragopogon major* Jacq., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. Всего к эксперименту привлечено более 200 видов цветковых растений.

Геометрическая визуализация тенденций антогенеза для модельных фиитоиндикаторов на тасономическом уровне рода в градиенте геохимического контраста экотопов Донбасса выполнена впервые.

Работа реализована в рамках инициативной научной темы с государственной регистрацией «Ботаника антропогенеза: индикация и оптимизация» № 0122D000085.

Библиографический список

1. Balthazar M. V., Schönerberger J. Floral structure and organization in Platanaceae // International Journal of Plant Sciences. 2009. Vol. 170. No. 2. P. 210–225. doi: 10.1086/595288
2. Terata of two legume species with radialized corolla: some correlations in floral symmetry / A. A. Sinjushin, A. Bagheri, M. R. Rahiminejad, A. A. Maassoumi // Plant Systematics and Evolution. 2015. Vol. 301. No. 10. P. 2387–2397. doi: 10.1007/s00606-015-1235-9
3. Inherited phenotype instability of inflorescence and floral organ development in homeotic barley double mutants and its specific modification by auxin inhibitors and 2,4-D / R. Šiukšta, V. Vaitkuniene, G. Kaselyte, V. Okockytė, J. Žukauskaitė, D. Žvingila, V. Rančelis // Annals of Botany. 2015. Vol. 115. No. 4. P. 651–663. doi: 10.1093/aob/mcu263
4. Сафонов А. И. Морфогенетические аномалии растений в диагностике природно-техногенных систем Донбасса // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2022. С. 54–58.
5. Сафонов А. И. Аномалии эмбриональных структур растений-индикаторов Донбасса // Разнообразие растительного мира. 2022. № 3 (14). С. 5–18. doi: 10.22281/2686-9713-2022-3-5-18
6. Морфогенетические аномалии бриобионтов в условиях геохимически контрастной среды Донбасса / А. И. Сафонов, А. С. Алемасова, И. И. Зиньковская, К. Н. Вергель, Н. С. Юшин, А. В. Кравцова, О. Чалигава // Геохимия. 2023. Т. 68. № 10. С. 1032–1044. doi: 10.31857/S0016752523100114
7. *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid в оценке техногенного загрязнения (Ni, Zn, Mn, Al, Se, Cs, La, Sm) трансформированных экотопов Донбасса / И. И. Зиньковская, К. Н. Вергель, А. И. Сафонов, Н. С. Юшин, А. В. Кравцова, О. Чалигава // Трансформация экосистем. 2023. Т. 6. № 3 (21). С. 22–38. doi: 10.23859/estr-220726
8. Калинина А. В. Карполого-индикационная значимость рудералов в условиях городской среды // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности. Донецк : ЮФУ, 2016. С. 312–314.

9. Кадырова Л. Р., Кадырова Ф. З. Морфология и некоторые аспекты репродуктивной биологии гречихи многолетней *Fagopyrum cymosum* Meissn. в условиях Республики Татарстан // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7. № 4 (25). С. 45–49. doi: 10.24411/2309-4370-2018-14108

10. Floral structure and palynology of *Podostemum weddellianum* (Podostemaceae: Malpighiales) / B. De Sá-Haiad, C. A. Torres, V. H. R. De Abreu, M. R. Gonçalves, C. B. F. Mendonça, L. D. R. de Santiago-Fernandes, C. P. Bove, V. Gonçalves-Esteves // Plant Systematics and Evolution. 2010. Vol. 290. No. 1. P. 141–149. doi: 10.1007/s00606-010-0356-4

11. Tikhodeev O. N., Tikhodeeva M. Yu. Variability of the flower structure in European starflower (*Trientalis europaea* L.) in natural populations // Russian Journal of Ecology. 2001. Vol. 32. No. 3. P. 206–210. doi: 10.1023/A:1011370429718

ДИНАМИКА ЛУГОВЫХ АССОЦИАЦИЙ ПОЙМЫ р. БЕСЕДЬ ВЕТКОВСКОГО РАЙОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев

*Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
dajneko@gsu.by, sertimo@mail.ru*

В статье представлена динамика изменения луговых ассоциаций поймы р. Беседь вблизи н.п. Казацкие Болсуны Ветковского района на протяжении длительного периода времени в связи с изменением гидрологического режима.

Ключевые слова: растительные сообщества, динамика, гидрологический режим, р. Беседь.

В последние годы проведены специальные исследования по выявлению динамических трендов в травянистой растительности в бассейнах реки Десны и Сожа в Южном Нечерноземье России [1–3].

Данные о фитоценоотическом разнообразии поймы реки Беседь, собранные за последние 40 лет, позволили провести сравнительный анализ травянистой растительности в синтаксономическом пространстве с выявлением основных динамических трендов, сформировавшихся в процессе ксерофитизации поймы на фоне антропогенного воздействия на растительный покров.

В 2023 г. продолжили изучение динамики луговых ассоциаций поймы р. Беседь Ветковского района.

Падение уровня весенних паводковых вод привело к изменению флористического состава и структуры растительных сообществ. Проведенные флористико-геоботанические обследования травяной растительности поймы реки Беседь позволили разработать классификацию и выявить динамику пойменных лугов в условиях ксерофитизации поймы. Анализ флористического состава изучаемых сообществ показал, что при изменении влажности субстрата изменяются обилие – покрытие, жизненность характерных видов ассоциаций, состав ценофлор. Процесс ксерофитизации приводит к формированию вари-

антов ассоциаций, которые представляют собой стадии сукцессионных изменений.

Сравнение ассоциации *Deschampsio-Poetum palustris* в пойме р. Беседь Ветковского района в 1981 году и результатов проведенного анализа в 2023 г., показывает, что ассоциация 1981 г. подверглась изменению и образовалась ассоциация *Deschampsietum cespitosae* (табл. 1–2).

Таблица 1

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

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

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

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

Таблица 2

Ассоциация *Deschampsietum cespitosae* в пойме р. Беседь, 2023 г.

Номера описаний	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Класс посто- янства
Проективное покрытие	80	80	80	85	85	85	80	80	85	85	
Количество видов	10	9	11	7	11	10	11	8	9	8	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Диагностический вид ассоциации											
<i>Deschampsia cespitosa</i>	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	V
Х.в. класса <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>											
<i>Vicia cracca</i>	.	+	.	+	+	.	+	+	.	.	III
<i>Rhinanthus minor</i>	+	.	+	.	.	+	.	.	+	+	III
<i>Festuca pratensis</i>	.	+	.	+	+	.	+	+	.	.	III
<i>Poa pratensis</i>	+	.	+	.	.	+	.	.	+	+	III
<i>Achillea millefolium</i>	.	+	.	+	+	.	+	+	.	.	III
<i>Centaurea jacea</i>	+	.	+	.	.	+	.	.	+	+	III
<i>Elytrigia repens</i>	.	+		+	+		+	+	.	.	III
<i>Geranium pratense</i>	.	.	+	+	.	+	+	.	.	+	III
<i>Plantago lanceolata</i>	+	+	.	.	+	.	.	+	+	.	III
<i>Taraxacum officinale</i>	.	.	+		+	+	+	.	.	.	III
<i>Ptarmica cartilaginea</i>	+	.	+	.	+	.	+	.	+	.	III
Прочие виды											
<i>Rumex thyrsoiflorus</i>	1	.	1	.	.	1	.	1	.	1	III
<i>Ranunculus auricomus</i>	+	+	.	.	+	.	+	.	+	.	
<i>Lythrum virgatum</i>											

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

Проводя сравнительный анализ ассоциаций *Caricetum gracilis*, вариант *Glyceria maxima-Glyceria fluitans*, субвариант *Oenanthe aquatica* в пойме р. Беседь, описанных в 1981 г. на плоском понижении правобережной центральной поймы в 3 км юго-восточнее д. Казацкие Болсуны (табл. 3), с повторно описанными в июне 2023 г. отмечаем, что эта ассоциация уже имеет вариант *Cirsium arvense* (табл. 4), что свидетельствует об изменении гидрологического режима.

Таблица 3

**Ассоциация *Caricetum gracilis*. Вариант *Glyceria maxima-Clyceria fluitans*.
Субвариант *Oenanthe aquatica* в пойме р. Беседь, 1981 г.**

Номера описаний	1	2	3	4	5	6	7	Класс постоянства
Проективное покрытие	70	70	70	80	80	80	75	
Количество видов	15	16	13	31	23	15	17	
Диагностический вид ассоциаций								
<i>Carex acuta</i>	4	4	4	4	4	2	3	V
Дифференцирующие виды вар.								
<i>Glyceria maxima</i>	2	3	2	1	1	1	3	V
<i>Clyceria fluitans</i>	1	1	1	4	4	4	4	V
<i>Carex vesicaria</i>	1	1	.	.	1	1	2	IV
<i>Ranunculus flammula</i>	.	.	1	.	1	2	1	III
<i>Galium uliginosum</i>	.	.	1	1	1	.	.	III
<i>Galium palustre</i>	.	.	.	1	1	1	.	III
<i>Filipendula ulmaria</i>	.	1	.	1	.	.	.	II
<i>Carex vulpina</i>	.	1	.	1	.	.	.	II
<i>Poa palustris</i>	.	.	.	.	2	1	.	II
<i>Oenanthe aquatica</i>	1	2	1	1	2	.	4	V
<i>Comarum palustre</i>	1	1	1	1	1	1	1	V
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	1	.	1	1	1	1	V
<i>Agrostis stolonifera</i>	.	1	1	1	1	1	1	V
<i>Eriophorum polystachion</i>	1	.	1	1	1	1	1	V
<i>Ranunculus repens</i>	1	.	.	1	1	1	1	IV
<i>Menyanthes trifoliata</i>	1	1	1	1	1	.	.	IV
<i>Acorus calamus</i>	1	.	1	1	.	.	.	III
<i>Sium latifolium</i>	.	1	.	1	1	.	1	III
<i>Pedicularis palustris</i>	.	.	.	1	1	.	.	II
<i>Myosotis palustris</i>	.	.	.	1	1	1	.	II
Прочие виды								
<i>Caltha palustris</i>	1	1	.	1	.	.	1	III
<i>Eleocharis uniglumis</i>	1	.	.	1	.	.	1	III
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1	1	.	.	.	.	.	II
<i>Carex elongata</i>	1	.	.	2	.	.	.	II
<i>Brachytecium mildeanum</i>	.	1	1	.	.	.	.	II
<i>Carex cinerea</i>	.	.	1	1	.	.	.	II
<i>Beckmannia eruciformis</i>	.	.	.	1	.	1	.	II
<i>Deschampsia cespitosa</i>	.	.	.	.	.	3	1	II

Таблица 4

Ассоциация *Caricetum gracilis*, вар. *Cirsium arvense*, р. Беседь, 2023 г.

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

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

Carex acuta в таких сообществах постепенно снижается. Флористическая насыщенность 8–14 видов на 100 м².

Таким образом, выделенные ассоциации характеризовали динамику растительных сообществ в зависимости от гидрологического режима в пойме р. Беседь.

Библиографический список

1. Булохов А. Д., Пионерские сообщества поймы реки Десны в Южном Нечерноземье России // Изв. СамНЦ РАН. 2017. Т. 19. № 2. С. 183–190.

2. Булохов А. Д. Субгалофитные сообщества Классов *Festuco-Puccinellietea* Vicherek 1973 и *Molinio-Arrhenatheretea* Тхю 1937 в Южном Нечерноземье России // Бюл. Брянского отделения Русского ботанического общества. 2018. № 4 (14). С. 33–42.

3. Булохов А. Д., Афонин О. В. Динамика сообществ класса *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941 под влиянием ксерофитизации поймы реки Десны (Брянская область) // Бюл. Брянского отделения Русского ботанического общества. 2018. № 4 (16). С. 9–18.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛИСТЬЯХ *SALIX ALBA* L. В УСЛОВИЯХ г. СИБАЙ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Г. Г. Бускунова, О. В. Киреева, С. А. Шарабасова
Сибайский институт (филиал) «Уфимский университет
науки и технологий», *gulsina_busk@mail.ru*

В статье представлены результаты исследований по содержанию Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Co, Pb в листьях *Salix alba* L., произрастающих в условиях г. Сибай Республики Башкортостан. Установлено, что концентрации указанных тяжелых металлов, за исключением меди в ряде точек отбора, превышают максимально-допустимые уровни на всех пробных площадках. Это показывает, что листья древесных растений могут выступать в качестве интенсивных накопителей тяжелых металлов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, максимально-допустимый уровень, железистая токсичность, предельно допустимая концентрация.

Одной из актуальных экологических проблем является проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ). Соединения этих элементов токсичны и способны к биоаккумуляции. В связи с этим, установление количественного содержания тяжелых металлов в различных компонентах окружающей среды является актуально задачей экологического мониторинга.

Объектом исследований явились листья ивы белой (*Salix alba* L.) отобранные на побережье пруда Ибрагимовский («Дом рыбака»), расположенный в 4 км от центра г. Сибай Республики Башкортостан.

Ива белая (*Salix alba* L.) – типовой вид лиственных деревьев из семейства Ивовые (*Salicaceae*) [1]. Произрастает на плавнях, по берегам рек, арыков, прудов и водоёмов, на плотинах, насыпях, откосах, вдоль дорог и около жилья в населенных пунктах; нередко образует довольно крупные рощи, тянущиеся вдоль рек на многие километры. В горах поднимается почти до 2000 м [2]. Дерево высотой 20–30 м, с шатровидной или широкоокруглой, нередко плакучей кроной, мощным стволом диаметром до 3 м (зачастую стволов несколько), покрытым темно-серой глубоко трещиноватой корой.

Цель работы заключалась в определении количественного содержания Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Co, Pb в листьях *Salix alba* L., произрастающих на побережье пруда Ибрагимовский г. Сибай Республики Башкортостан.

Листья ивы белой были отобраны в июне 2021 г. в 4 пробных площадках (ПП) на побережье пруда Ибрагимовский (рис. 1).

Пруд Ибрагимовский, также общеизвестный для местного населения как пруд «Дом рыбака», имеет рекреационное и рыбохозяйственное значение для города и размещен в 4 километрах от центра г. Сибай Республики Башкортостан. В пруд впадает река Камышлы-Узяк, которая, протекая вдоль функционирующих и отработанных объектов горнопромышленного комплекса Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината (СФ УГОК), загрязняется неочищенными либо недостаточно очищенными шахтными, рудничными и подотвальными водами [3, 4].

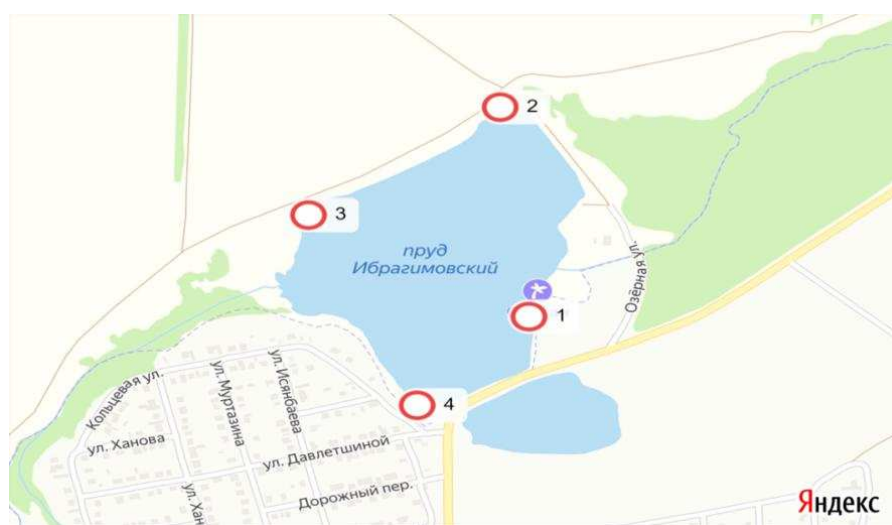


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадок

На каждой пробной площадке отобраны по 100 листьев. Масса биогеохимической пробы составила 200 г сырого вещества. Отобранные листья раскладывали равномерным слоем на ровную поверхность и высушивали при комнатной температуре без доступа прямого солнечного света. Сухие листья измельчали, упаковывали в пакеты из плотной бумаги и маркировали, указывая номер пробы. Вес сухой пробы составил 120 г. Содержание Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Cd, Hg, Pb в образцах определяли атомно-абсорбционным методом в центральной лаборатории Сибайской обогатительной фабрики ОАО «УГОК».

Накопление тяжелых металлов в листьях *Salix alba* L. оценивали по кратности превышения максимально-допустимого уровня (МДУ): Cu – 30 мг/кг, Zn – 50 мг/кг, Ni, Co – 1 мг/кг, Fe, Mn – 100 мг/кг, Pb – 5 мг/кг, Cd – 0,3 мг/кг [5].

Установлено, что нормальное содержание меди для растений находится в пределах 10 мг/кг сухой массы, а концентрация выше 20 мг/кг токсична [6, 7]. ПДК для цинка в растениях составляет 42 мг/кг. Предельно допустимая концентрация содержания никеля в растениях установлена на уровне 3 мг/кг. Предельно допустимая концентрация содержания марганца в растениях установлена на уровне 250 мг/кг. Максимально допустимый уровень кобальта в растениях – 1,0 мг/кг сухого вещества, а концентрация кобальта в области 5,0 мг/кг считается критической, более 80,0 мг/кг – фитотоксичной. В тканях растений содержание кадмия в пределах 0,2–0,8 мг/кг считается оптимальным, в аномальных случаях его концентрации могут достигать 80 мг/кг. Временный МДУ кадмия в растениях определен на уровне 0,3 мг/кг сухой массы. Концентрация свинца от 0,1 до 5,0 мг/кг сухого вещества считается нормальной, до 10,0 мг/кг – максимальной, выше 60,0 мг/кг – фитотоксичной. Содержание железа в растениях на уровне 20–300 мг/кг считается нормой, а концентрация выше 750 мг/кг – токсичной. МДУ железа равна 100 мг/кг.

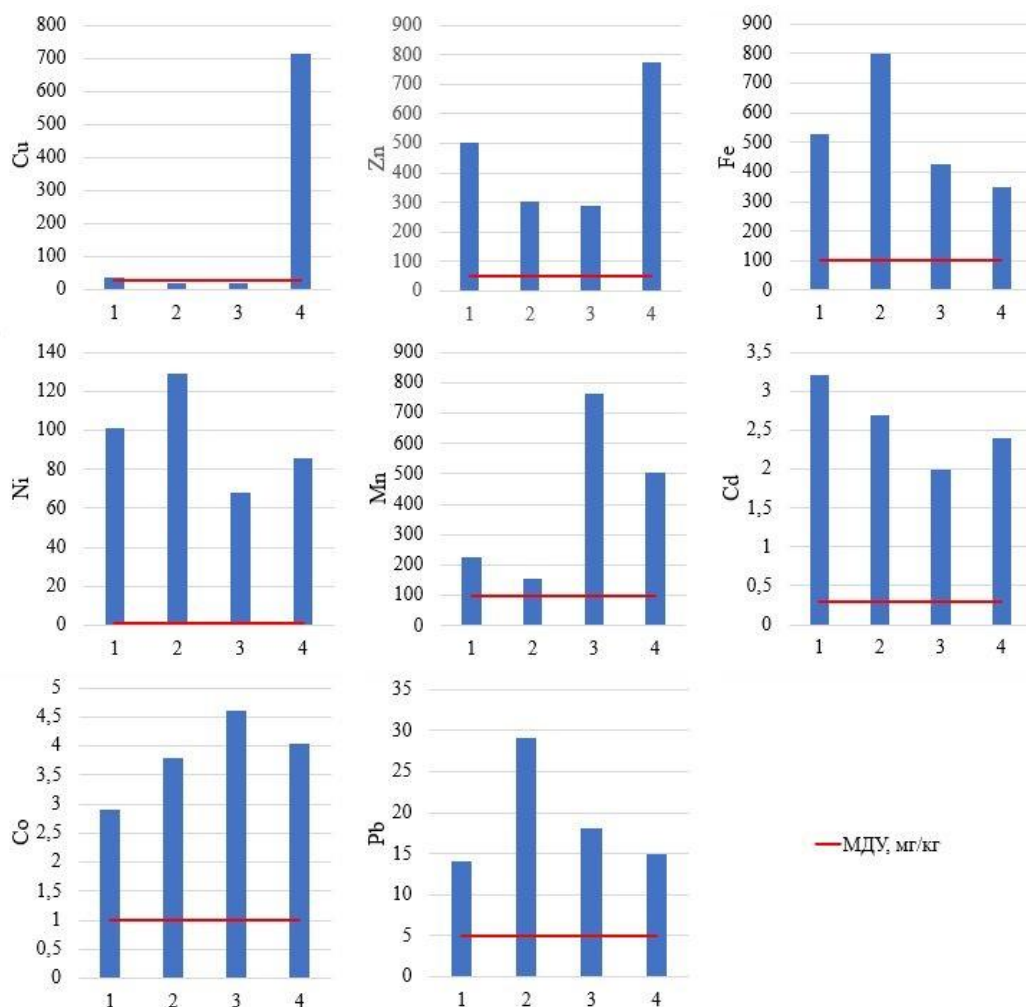


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в *Salix alba* L.

Одним из признаков железистой токсичности является величина отношения Fe/Mn. Для нормального развития растений это соотношение должно быть от 1,5 до 2,5. При величине данного показателя, равного 30, проявляется токсичность, при 100 – гибель растения. По результатам наших исследований это соотношение в листьях на ПП 1 составляет 2,3; ПП 2 – 5,2; ПП 3 – 0,5; ПП 4 – 0,7. Таким образом, в условиях г. Сибай Республики Башкортостан *Salix alba* L. испытывает железистую токсичность на ПП 1, ПП 2.

Результаты исследований выявили, что концентрации ТМ в *Salix alba* L. превышают нормы на всех пробных площадках, за исключением Cu на ПП 2 и ПП 3 (рис. 2). Это показывает, что листья древесных растений могут выступать в качестве интенсивных накопителей тяжелых металлов.

Библиографический список

1. Губанов И. А. Ива белая или Ветла // Иллюстрированный определитель растений Средней России. В 3 т. М. : Т-во науч. изд. КМК, Ин-т технолог. иссл., 2003. Т. 2. С. 13.
2. Буданцев А. Л., Лесиовская Е. Е. Дикорастущие полезные растения России. СПб. : Изд-во СПХФА, 2001. 663 с.
3. Техногенное загрязнение малых рек в черте г. Сибая / З. Б. Бактыбаева, Р. А. Сулейманов, Т. К. Валеев, Н. Р. Рахматуллин, С. М. Ямалов, А. А. Кулагин // Медицина труда и экология человека. 2016. № 2 (6). С. 53–60.
4. Каипкулова Д. А., Бускунова Г. Г. Загрязнение тяжелыми металлами воды пруда «Дом рыбака» г. Сибай Республики Башкортостан // Уфимский гуманитарный научный форум : сб. статей молодежного науч. форума / под ред. А. Н. Дегтярева, А. Р. Кузнецовой. Уфа : Институт стратегических исследований Республики Башкортостан, 2022. С. 424–428.
5. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. Россельхознадзор. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/ru-fsvps/laws/6198.html> (дата обращения: 10.10.2023).
6. Матвеев Н. М., Павловский В. А., Прохорова Н. В. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара : СГУ, 1997. 100 с.
7. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-е, 1991. 151 с.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ РАСТЕНИЙ *NONEA PULLA* L. В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Г. Г. Бускунова, Р. Р. Аминева, Г. А. Нарынбаева
Сибайский институт (филиал) Уфимского университета
науки и технологии, gulsina_busk@mail.ru

В данной статье приведены сведения по накоплению тяжелых металлов (ТМ) в различных органах растений *Nonea pulla* L. Образцы почв и растений были отобраны общепринятыми методами на территории г. Сибай Республики Башкортостан. У изучаемого вида были рассчитаны такие биогеохимические показатели, как индекс аккумуляции, биохимическая активность, акропетальный коэффициент.

Ключевые слова: тяжелые металлы, предельно-допустимая концентрация, биохимическая активность, акропетальный коэффициент.

С ростом урбанизации происходит изменение городской среды, которая во многих отношениях отличается от природной. Высокая антропогенная нагрузка на окружающую среду в городе обусловлена выбросами промышленных предприятий, автотранспорта, образованием огромного количества отходов производства и потребления. К числу основных факторов деградации природной среды относится ее загрязнение различными поллютантами, среди которых одно из главных мест занимают тяжелые металлы. В их числе находятся не только элементы с хорошо известными биологическими функциями (Cu, Zn, Fe, Mn), но и элементы проявляющие токсический эффект (Ni, Cd, Co, Pb) [1]. В силу сказанного становится понятной актуальность исследований, посвященных изучению содержания тяжелых металлов (ТМ) в растениях.

Объектом наших исследований является широко распространённое засухоустойчивое, светолюбивое, сорное травянистое растение – Ноня темная (*Nonea pulla* L.). Исследуемый вид встречается в степях, по залежам, сухим лугам, по обочинам дорог, на пустырях, открытых склонах. Нередко растет как сорняк в яровых и озимых посевах злаков [2].

Цель работы – количественный анализ содержания тяжелых металлов в надземных и подземных частях растений *Nonea pulla* L.

Образцы почв и растений были отобраны на территории г. Сибай Республики Башкортостан. Отбор почвенных и растительных проб производилась согласно ГОСТ Р 58595-2019 [3] и ГОСТ 12430-2019 [4]. Растительные образцы были разделены на 4 части (корни, стебли, листья, цветки) для последующей сушки. После сушки образцы были измельчены, упакованы бумажные конверты, промаркированные и отправлены в лабораторию для химического анализа. Содержание тяжелых металлов определялось атомно-абсорбционным методом в лаборатории Сибайской обогатительной фабрики на аппарате «CONTR AA» с пламенным атомизатором «ацетилен – воздух». Образцах почв и растений были определены концентрации следующих тяжелых металлов (мг/кг): Cu, Zn, Fe, Ni, Mn, Cd, Co, Pb. Загрязненность почвенного покрова подвижными формами тяжелых металлов оценивали по кратности превышения предельно допустимых концентрации (ПДК) [5].

Уровень загрязнения почв оценивался путем вычисления суммарного показателя загрязнения Z_c , который рассчитывался по формуле: $Z_c = \sum K_c \cdot (n-1)$, где K_c – коэффициент концентрации тяжелых металлов; n – число оцениваемых элементов [6]. Шкала значений, позволяющий охарактеризовать категории загрязненности почвенного покрова по степени загрязнения таковы: при $Z_c \leq 16$ – допустимая; при $16 \leq Z_c \leq 32$ – умеренно опасная; при $32 \leq Z_c \leq 128$ – опасная; $Z_c \geq 128$ – чрезвычайно опасная [7].

Для оценки экологической чистоты исследуемого растения применяли метод кратности превышения максимально-допустимого уровня (МДУ) ТМ в

растениях [8]. Используя результаты химического анализа в растениях *N. pulla* были вычислены индекс аккумуляции (I_A), акропетальный коэффициент (АК), биогеохимическая активность (БХА). Биогеохимическая активность показывает целостную картину миграции ТМ в растениях, а акропетальный коэффициент особенности распределения их по органам [9]. Индекс аккумуляции представляет собой отношение концентрации ТМ в воздушно-сухой массе растений к концентрации подвижных форм в почве и показывает актуальную интенсивность поглощения. Установлено, что если величина $I_A < 0,1$ то металл относится к элементам слабого и очень слабого захвата, если $1 > I_A > 0,1$ – к элементам среднего захвата, если $10 > I_A > 1$ – к элементам сильного накопления, $I_A > 10$ – к элементам энергичного накопления [10].

Исследования показали, что содержание Cu, Fe, Mn, Co в почвах не превышали установленные нормы, а концентрации Zn (13,1 раза), Cd (2,1 раза), Pb (1,7 раза), Ni (1,3 раза) в почвах превышали ПДК. Уровень суммарного показателя загрязненности составил 11,72, что соответствует допустимой категории загрязненности почв.

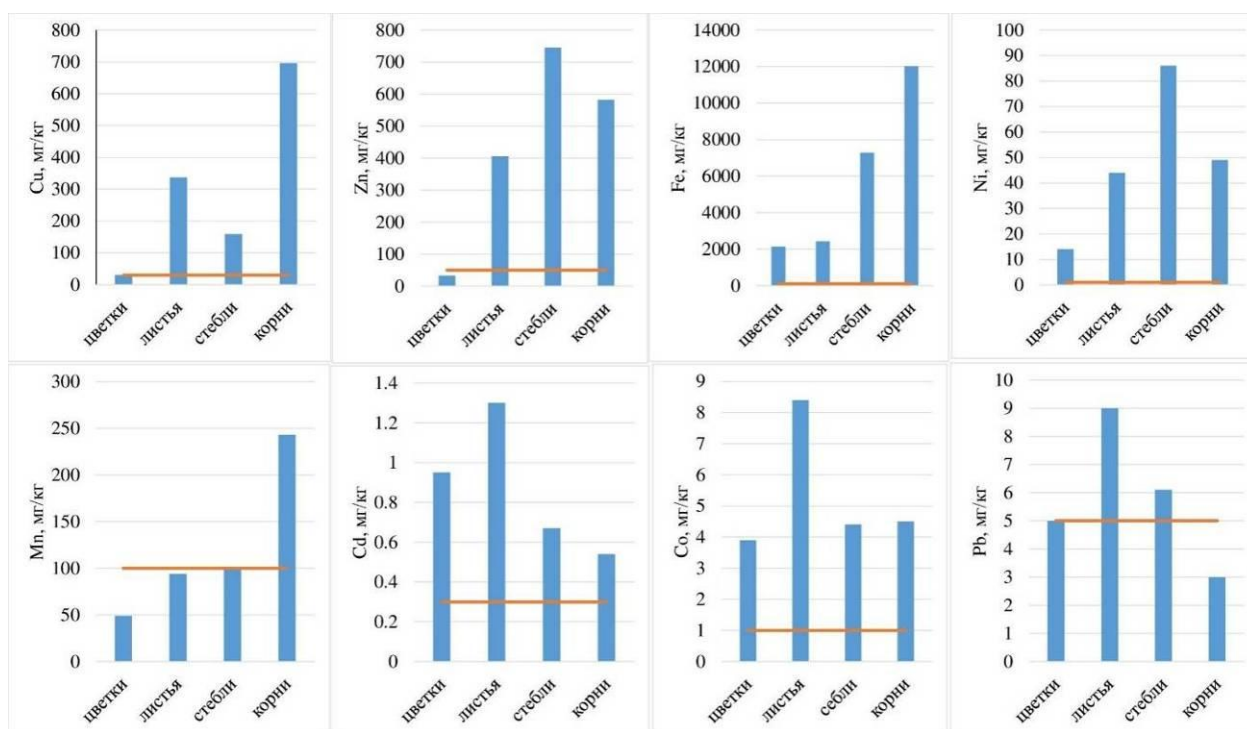


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в растениях *Nonea pulla* L. (— МДУ, мг/кг)

На рисунке 1 видно, что у растений *Nonea pulla* L. генеративные части не загрязнены Cu и Zn, но отмечены их превышения в вегетативных (Cu 5,3–11,2 раза, Zn 8,1–14,9 раза) и подземных частях (Cu 23,2 раза, Zn 11,6 раза). Концентрации Fe (21,3–120,1 МДУ), Cd (1,8–4,3 МДУ), Co (4,4–8,4 МДУ), Ni (14–86 МДУ) превышали норму во всех органах вида. Надземная фитомасса растений не загрязнена Mn, а в корнях его содержание превышает

норму в 2,4 раза. Генеративные и подземные части растения не загрязнены Pb, отмечены их превышения в листьях и стеблях (вегетативные части) – в 1,8 и в 1,2 раза соответственно.

Расчеты акропетального коэффициента, показали, что в растениях *Nonea pulla* L. Cu, Zn, Fe, Mn распределены по акропетальному типу, а Cd, Co, Pb – по базипетальному типу (рис. 2).

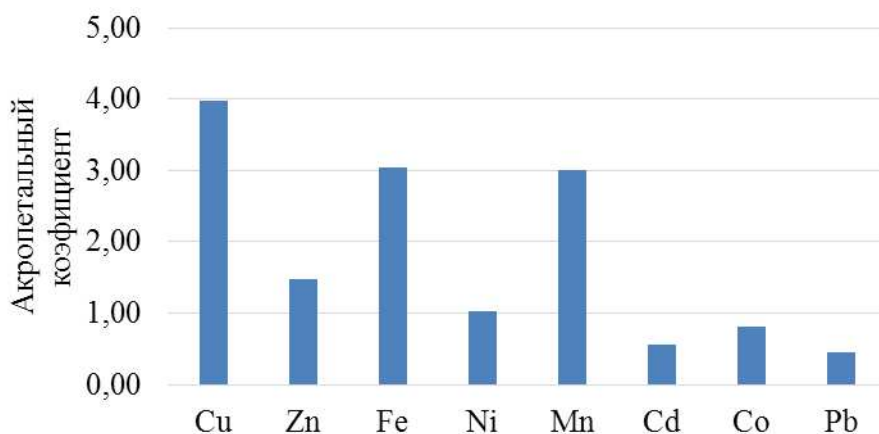


Рис. 2. Акропетальный коэффициент в растениях *Nonea pulla* L.

Суммарная величина индекса аккумуляции, выраженная через показатель БХА, в растениях *Nonea pulla* L. изменялась от 20,62 до 277,65 (рис. 3).

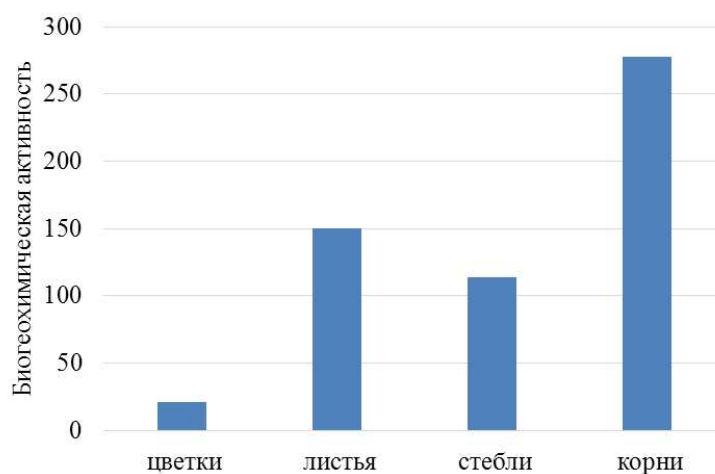


Рис. 3. Биогеохимическая активность тяжелых металлов в органах растений *Nonea pulla* L.

Наибольший показатель биогеохимической активности обнаружен в корнях (277,65), наименьший – в цветках (20,62) *Nonea pulla* L., что говорит о способности накапливать элементы в подземных частях растений.

Результаты проведенных исследований показали, что растения *Nonea pulla* L. в изученных нами территориях загрязнены тяжелыми металлами, в частности, Fe, Ni, Co, Cd.

Библиографический список

1. Войтюк Е. А. Аккумуляция тяжелых металлов в почве и растениях в условиях городской среды : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Чита, 2011. 22 с.
2. Артохин К. С., Игнатова П. К. Сорные растения и меры борьбы с ними. Ростов н/Д., 2016. 466 с.
3. ГОСТ Р 58595-2019 Почвы. Отбор проб. М. : Стандартинформ, 2019.
4. ГОСТ 12430-2019 Карантин растений. М. : Стандартинформ, 2019.
5. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
6. Завальцева О. А. Основы биогеохимии. Ульяновск : УлГУ, 2012. 71 с.
7. Водяницкий Ю. Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276–1280.
8. Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках // Россельхознадзор. [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/ru/fsvps/laws/6198.html> (дата обращения: 15.10.2023).
9. Оценка биогеохимического состояния травянистых растений и почв Волжско-Камского заповедника / М. Ш. Сибгатуллина, А. Б. Александрова, Д. В. Иванов, В. С. Валиев // Ученые записки Казанского университета. Серия «Естественные науки». 2014. Т. 156. Кн. 2. С. 87–102.
10. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М. : Высшая школа, 1975. 342 с.

ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОГО СОСТАВА ТРАВЯНИСТОГО ПОКРОВА ПРИДОРОЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ г. МАКЕЕВКИ

А. В. Калинина

Донецкий государственный университет, kalinina.angela91@mail.ru

Представлены результаты флористического обследования травостоя придорожной территории центральной улицы г. Макеевки – ул. Ленина. Определены особенности видового состава и таксономической структуры травостоя придорожной полосы.

Ключевые слова: травянистый покров, придорожная территория, видовое богатство, видовая насыщенность, автомобильная дорога, г. Макеевка.

Транспортная сеть современных городов активно развивается, происходят преобразования в инфраструктуре путей сообщения, в технологиях их содержания и эксплуатации [1]. Возрастает антропогенное воздействие, следствием которого является трансформация придорожных экосистем [1–3].

Придорожные территории представляют собой специфические местообитания, важную роль в которых играет растительный покров [1]. Растения способны оптимизировать негативное воздействие со стороны транспортных путей. Они чувствительно реагируют на изменения во внешней среде, по их состоянию можно оценить интенсивность антропогенного воздействия на экосистемы [4–6].

Соответственно, исследование фитоценозов придорожной территории является актуальным научным направлением [1]. Полученные данные имеют прикладное значение, которое заключается в оценке уровня негативного воздействия, в разработке ассортимента видов растений для озеленения, наблюдение за процессами восстановления, выявления их тенденций.

Объектом исследования стал травянистый покров вдоль центральной улицы г. Макеевки – ул. Ленина. Она представляет собой асфальтированную двухполосную дорогу с двусторонним движением и одной проезжей частью. Протяжённость улицы составляет около 6,4 км, характерна значительная интенсивность движения. По улице проложены автобусные и троллейбусные маршруты общественного транспорта, она соединяет железнодорожный вокзал и автостанции г. Макеевки.

Исследования проводили в августе 2023 г. Определяли трансекты размером 50 м^2 , на каждой из них были выделены по 20–30 пробных площадок (ПП) размером 1 м^2 . Для исследования были выбраны участки, на которых высота травянистого покрова составляла от 20 см до 80 см. Ширина придорожной полосы варьировала в пределах от 2 до 5 м. Применяли маршрутный метод флористического обследования, был выполнен сбор гербария и фотографирование. Исследование выполнено согласно общепринятым методикам. При определении видов растений использовали работу В. М. Остапко [7].

ПП № 1 расположена вдоль квартала Гвардейский. В пределах пробной площадки выявлено 21 вид, видовая насыщенность составила $7,64 \pm 0,30$ видов на 1 м^2 . Общее проективное покрытие (ОПП) – 100%. В травостое преобладали *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Taraxacum officinale* F.H. Wigg., *Plantago major* L.

ПП № 2 находится в пределах квартала Metallurg. Видовое богатство – 33 вида, видовая насыщенность – $13,64 \pm 0,41$ на 1 м^2 . ОПП около 100%. На пробных площадках доминировали *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Taraxacum officinale* F.H. Wigg., *Setaria viridis* (L.) P. Beauv.

ПП № 3 расположена на территории микрорайона Комсомольский, вблизи МБОУ «Средняя школа № 47 города Макеевки». Видовое богатство составило 40 видов, видовая насыщенность равна $10,00 \pm 4,0$ на 1 м^2 . Проективное покрытие 97–100%. Отмечено преобладание *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Taraxacum officinale* F.H. Wigg.

ПП № 4 находится вблизи площади Грибиниченко, микрорайон Комсомольский. На пробной площадке зафиксировано 28 видов, видовая насыщенность $9,10 \pm 0,31$ на 1 м^2 . Проективное покрытие травостоя равняется 100%. Зафиксировано преобладание *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Ambrosia artemisiifolia* L.

ПП № 5 выделена вблизи «ЦПМСП № 3 г. Макеевки», площадка расположена около автозаправки «Мустанг». Видовое богатство – 31 вид, видовая насыщенность – $10,20 \pm 0,37$ на 1 м^2 . В травянистом покрове доминируют *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Setaria viridis* (L.) Beauv.

Среднее видовое богатство на исследованных площадках составило $30,6 \pm 1,39$ видов. Видовая насыщенность варьирует от 7,64 до 10,67. В травостое придорожной полосы преобладают *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Taraxacum officinale* F.H. Wigg., *Setaria viridis* (L.) Beauv., *Plantago major* L., *Ambrosia artemisiifolia* L.. Общим доминантом на всех пробных площадках является *Elytrigia repens* (L.) Nevski (15–70%).

По результатам анализа таксономической структуры на придорожной полосе ул. Ленина выявлено 64 вида, которые относятся к 21 семейству, 59 родам. Ведущими являются Asteraceae (31,25%), Poaceae (12,50%), Brassicaceae (7,81%), Fabaceae (6,25%), на их долю приходится 57,81% видов (рис.). Данные семейства входят в спектр ведущих семейств региональной флоры, однако доля участия этих семейств различна. На исследованных участках доля видов Asteraceae в 4,5 раза превышает региональные показатели, а доля видов Poaceae выше в 1,5 раза.

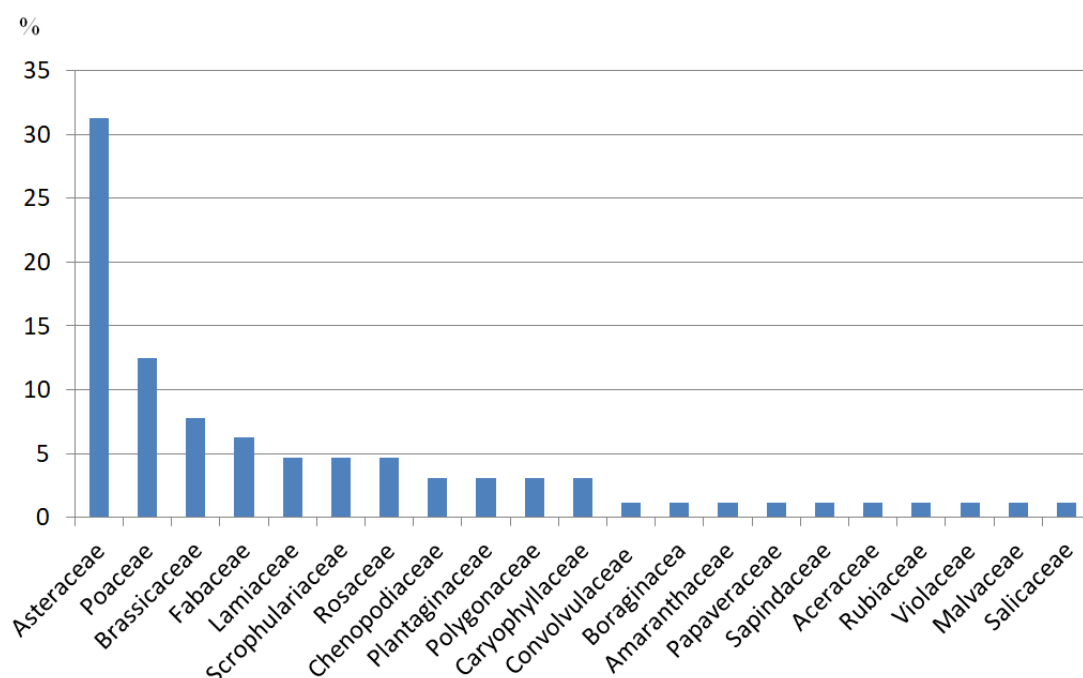


Рис. Спектр ведущих семейств травостоя придорожной территории ул. Ленина г. Макеевки

Таким образом, сравнение полученных данных с региональными флористическими списками свидетельствует о бедности видового состава, малом разнообразии спектров семейств и родов, а также изменении доли участия ведущих семейств в травостое придорожной территории. Отмечено повышение степени доминирования небольшого количества видов. Выявленные особенности указывают на антропогенную трансформацию растительного покрова.

Для более точной оценки состояния придорожных экосистем, выявления тенденций процессов адаптации и восстановления травянистого покрова техногенных территории необходимы дальнейшие исследования.

Библиографический список

1. Жесткова Д. Б. Состав и структура травянистого покрова придорожных территорий автомагистралей крупного промышленного города : автореф. дис... канд. биол. наук : 03.02.08 «Экология (по отраслям)». Нижний Новгород, 2016. 22 с.
2. Калинина А. В. Таксономический и эколого-ценотический анализ раннецветущих растений некоторых трансформированных экотопов Донецко-Макеевской агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2023. № 1–2. С. 23–28.
3. Сафонов А. И. Фитоиндикация промышленно-индустриальных ландшафтов Донбасса // Современные исследования в науках о Земле: ретроспектива, актуальные тренды и перспективы внедрения : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2022. С. 154–156.
4. Калинина А. В. Сравнительная характеристика некоторых морфометрических параметров *Oenothera biennis* L. Различных ареалов распространения // Донецкие чтения 2022 : материалы VII Междунар. науч. конф. / под общей ред. С. В. Беспаловой. Т. 3. Донецк : Донецкий национальный университет, 2022. С. 80–81.
5. Сафонов А. И. Принципиальное расширение полномочий эколого-ботанического мониторинга в Донбассе // 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. 261–264.
6. Хархота А. И., Прохорова С. И., Агурова И. В. Особенности антропогенного сингенеза в техногенных экотопах Юго-востока Украины // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2014. Т. 6. № 1. С. 46–52.
7. Остапко В. М., Бойко А. В., Мосякин С. Л. Сосудистые растения юго-востока Украины. Донецк : Ноулидж, 2010. 247 с.

МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ИНВАЗИВНЫМ СОРНЫМ РАСТЕНИЕМ – БОРЩЕВИКОМ СОСНОВСКОГО (краткий обзор)

Т. Я. Ашихмина^{1,2}, *Н. В. Сырчина*², *И. Г. Широких*^{1,2,3},
Л. И. Домрачева^{1,4}, *Л. В. Кондакова*^{1,2}, *Е. В. Товстик*²,
*Т. А. Адамович*², *Г. Я. Кантор*^{1,2}, *В. В. Рутман*²

¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, *ecolab2@gmail.com*,

² Вятский государственный университет,

³ Федеральный аграрный научный центр

Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,

⁴ Вятский государственный агротехнологический университет

Рассматриваются различные подходы и методы по снижению инвазии борщевика Сосновского и рекомендуемые способы борьбы с ним. Среди них на практике уже применяются механические, химические, физико-химические, биологические методы. Однако пока наиболее используемыми являются механические и химические методы борьбы с борщевиком Сосновского. Каждый из рекомендуемых методов снижения инвазии имеет свои недостатки и преимущества. К недостаткам относятся: неэффективность воздействия, дороговизна метода, длительность остаточного действия, химическая и биологическая опасность.

Ключевые слова: сорное растение, инвазия, меры снижения инвазии, подходы и методы борьбы с борщевиком Сосновского.

В нашей стране назревает серьезная биологическая катастрофа: с каждым годом агрессивный сорняк – борщевик Сосновского – отвоевывает все большие территории, вытесняя другие культуры. В ряде регионов распространение его становится таким же стихийным бедствием, как паводки или лесные пожары. Сложнее всего ситуация складывается в средней полосе России: по состоянию на 2020 г. борщевик занимает, по разным оценкам, от 20 до 40% сельскохозяйственных угодий в РФ. На сегодня это растение распространилось на площади около 1 млн га плодородных земель [1]. Кроме того, борщевик становится своеобразным индикатором брошенных земель: им зарастают земли, которые потенциально могли бы стать пашнями, но не обрабатываются. Если не принимать действенные меры, то ситуация с распространением борщевика в ближайшие десятилетия, по всей видимости, может усугубиться, т. е. к середине столетия на европейской части страны многие территории могут оказаться почти полностью заросшими данным опасным растением [2]. Борщевик часто можно встретить на лугах, лесных полянах, в населенных пунктах, у дорог, на окраинах полей, в парках. Его можно спутать с другими, неядовитыми представителями семейства зонтичных. Род борщевиков насчитывает до 70 видов. На территории России растет около 40 из них. Далеко не все из борщевиков опасны, одинаково ядовиты и склонны заполнять опустевшие поля и размножаться на обочинах дорог.

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) – это как раз то ядовитое растение, которое мы все знаем под обобщенным названием борщевик. Это крупное травянистое растение высотой более одного метра, но во многих местах могут встречаться экземпляры высотой до четырех метров. Стебель длиной 1,4–1,9 метра, бороздчато-ребристый, шероховатый, частично ворсистый, пурпурный или с пурпурными пятнами, несет очень крупные тройчато- или перисто-рассеченные листья обычно желтовато-зеленого цвета. Соцветие представляет собой сложный зонтик, состоящий из 30–75 лучей, цветение длится с июля по сентябрь.

Известно, что жгучий борщевик раньше не произрастал на Европейской территории России, а пришел к нам с Кавказа. В конце 40-х годов его начали культивировать в СССР при производстве корма для скота, и в настоящее время он распространился во всех регионах России. Рост борщевика ускоряется в теплом климате, и глобальное потепление может создать условия для дальнейшего распространения опасного растения. Более того, у борщевика нет естественных врагов, которые могли бы как-то сдерживать его неконтролируемый рост [3]. Он отлично себя чувствует в средней полосе России. В развитых в аграрном смысле регионах, там, где много и малых форм сельского хозяйства, и крупных агрохолдингов, борщевик почти не встречается, а там, где сельское хозяйство развито в меньшей степени, борщевик растет повсе-

местно. В России более 10% сельхозугодий пустуют, не используются и не обрабатываются.

Активному распространению борщевика Сосновского способствуют биологические особенности самого растения. Он образует огромное количество легко расселяемых семян, которые способны прорасти в разные сроки и длительно сохранять всхожесть; обладает холодостойкостью, быстрым ростом, выделением биоактивных веществ, которые угнетают другие растения. Для него характерны: одновременное цветение, возможность самоопыления и опыления насекомыми, способность восстанавливаться из корневых побегов, защита фуранокумарином от вредителей и болезней, отсутствие естественных врагов [3]. Фуранокумарины – вещества, резко повышающие чувствительность организма к ультрафиолетовому излучению. Самые сильные ожоги он вызывает при соприкосновении с кожными покровами в ясные солнечные дни. Борщевик опасен не только для людей, но для почвы, мешая расти другим культурам [4]. На брошенной пашне, если она занята борщевиком, ничего не растет, за исключением самого борщевика. В основном с наступлением лета сорняк скашивают, но на следующий год он вырастает снова: одно растение борщевика Сосновского дает от 20 до 100 тыс. семян, которые с каждого растения активно распространяются ветром, водой, птицами, транспортом [5].

В лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ накоплен некоторый опыт по выявлению мест произрастания борщевика и определения заполненной им площади на основе использования космических снимков [6, 7]. Специалистами лаборатории разработана программа по подсчёту количества особей борщевика путём автоматического анализа крупномасштабных аэрофотоснимков. Лучше всего борщевик среди других растений виден сверху в период его цветения. Именно этот момент надо использовать при проведении работ по определению площади зарастания и картированию местности. Составление карт распространения борщевика необходимо для понимания статуса заполненных им участков и выявления землепользователей, ответственных за состояние данной территории [8].

На уничтожение борщевика Сосновского тратятся сотни миллионов рублей. Если материнское растение, с которого осыпаются семена, растёт на опушке или в центре луга, очаг увеличивается со скоростью до пяти метров в год. А если борщевик растёт на обочине дороги, скорость распространения возрастает до нескольких сотен метров. Виной всему потоки воздуха от проезжающих машин, которые подхватывают и разносят его семена [5]. С борщевиком борются перепахиванием, скашиванием, обработкой химикатами и замещением культурными растениями, но это трудный и долгий процесс, потому что сорняк очень живуч и плодовит [1, 9].

Для ликвидации зарослей борщевика Сосновского с использованием гербицидов и других агрохимикатов может потребоваться от 3 до 5 лет при обязательной одновременной обработке соседних заселённых растением участков, чтобы не сохранились источники вторичного обсеменения. Разра-

ботан ряд препаратов для борьбы с борщевиком [10, 11]. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов включает гербициды, которые рекомендуется применять на несельскохозяйственных землях:

– дикамба и клопиралид – данный гербицид избирательного действия на борщевик и другие двудольные растения, не повреждает злаковые растения; рекомендуется его использовать для борьбы с борщевиком на газонах;

– имазапир – гербицид длительного сплошного действия против всех видов растений, поэтому его нельзя применять на сельскохозяйственных угодьях; однако целесообразно его применение вдоль железных дорог, шоссе, на просеках и аэродромах;

– глифосат – препарат сплошного действия, применяется в виде различных солей для уничтожения вегетирующих растений всех видов; быстро разлагается в почве; преимущество перед другими препаратами заключается в том, что он не дорогой; однако он обладает генотоксическими и канцерогенными свойствами;

– сульфонилмочевины (магнум и анкор-85) – это группа высокоактивных селективных гербицидов системного, длительного, остаточного действия на проростки, безопасных для однодольных растений; медленно разрушаются в почве; после уничтожения борщевика данными препаратами на освободившихся местах может активно происходить зарастание злаками [10];

– пиклорам – системный селективный гербицид, применяется на газонах и землях несельскохозяйственного назначения; высокоэффективен в борьбе с борщевиком.

Наряду с индивидуальными гербицидами эффективно применение на их основе баковых смесей, например:

- глифосат + метсульфурон-метил (магнум),
- глифосат + сульфометурон-метил (анкор-85),
- глифосат + дикамба.

Все мероприятия по уничтожению борщевика Сосновского имеют одну главную цель – не допустить его цветения и, соответственно, рассеивания.

Механическое уничтожение применяют на небольших участках в регионах, где только началось распространение борщевика. Проводится выкапывание проростков; выкапывание части корня растения второго или последующих годов жизни на глубину 20 см вместе с точкой роста, которая находится под розеткой листьев; неоднократное скашивание вегетирующих растений или срезание цветоносов до распускания цветков; сжигание скошенных растений, если они начинают цвести; мульчирование засоренных участков материалами, не пропускающими свет; посев газонных трав на участке после обработки гербицидом или выкапывания, покрытие геополотном и засыпание слоем почвы. Кроме того, за последнее время в борьбе с борщевиком стали использоваться дроны и наземные беспилотники с искусственным интеллектом, раскапываются зимой места роста сорняка, чтобы убивать его холодом, рекомендуется использовать технологию высокочастотной электромагнитной стерилизации семян и корневищ борщевика.

Применяются биологические методы, например, используется фитопатогенные грибы, а также бактерии и вирусы, к примеру, штамм гриба *Phoma complanata*, или рекомендуется биогербицид на основе *Fusarium oxysporum* – суперпродуцент тирозина – аминокислоты, обладающей способностью к ингибированию растений. Некоторые химические гербициды, например, глифосат, хорошо сочетаются с некоторыми биогербицидами, что повышает эффективность и расширяет спектр действия смесей. Разрабатываются для данных целей биохимические гербициды на основе грибного токсина (из рода *Alternaria*) или на основе лактобактерий, образующих фитотоксичные молочную и лимонную кислоты. Наиболее эффективными ограничителями численности сорных растений являются насекомые-фитофаги, которые могут питаться только данным сорняком, их специально выращивают [12].

В качестве перспективных методов, которые основаны на естественных процессах, рекомендуются способы борьбы с использованием посевов многолетних трав, при этом создается плотная дернина. Данный способ является экологически чистым и достаточно эффективным по сокращению ареала борщевика Сосновского. При этом рекомендуется использовать повышенные нормы посева многолетних злаковых трав, использовать растительные материалы (зеленую и высушенную массу многолетних трав, солому и др.) для мульчирования и укрытия вегетирующих растений борщевика. В качестве многолетних сеяных трав используются щучка дернистая, вейник наземный, клевер луговой [13]. Перед их посевом рекомендуется провести двукратное скашивание борщевика с интервалом две недели, затем обработать гербицидом и через три недели провести посев трав [14].

К основным методам борьбы для небольших личных участков можно отнести покрытие почвы светонепроницаемыми пленками на длительное время, кроме того, рекомендуется их присыпать грунтом и затем высевать многолетние травы: в этом случае корневище загнивает, а растение погибает [15]. Также применяют термическое воздействие и воздействие излучателя ИСЧ-19 на почву [16]. Агротехнические мероприятия включают глубокую вспашку и введение земель в сельскохозяйственное использование. Наиболее рациональны и целесообразны ежегодные вспашка и перекопка – и лучше не один, а четыре раза. В этом случае уничтожается сама растущая почка растения, находящаяся на глубине 10–12 см от поверхности.

Следует отметить, что уничтожение борщевика Сосновского осложняет отсутствие централизованного подхода, каждый регион разбирается с проблемами самостоятельно и точечно. В частности, муниципальные земли от растения очищают коммунальные и дорожные службы. На сельскохозяйственных землях за ликвидацию борщевика отвечают собственники сельхозземель или арендаторы, на землях населенных пунктов – органы местного самоуправления, на участках вдоль дороги – Министерство транспорта и дорожной инфраструктуры, на землях, находящихся в собственности региона и муниципальных образований – Министерство имущественных отношений. Министерство лесного хозяйства отвечает за земли лесного фонда, а земли

под линиями электропередачи и вдоль газопроводов – зона ответственности Министерства энергетики.

Все методы искоренения борщевика Сосновского и их сочетание требуют научного подхода. При этом крайне важно на основе ГИС-технологий определить площади зарастания борщевиком и построить тематические карты засоренности, провести поиск его естественных врагов – автохтонных видов растений, микроорганизмов, которые могут задержать распространение борщевика, а также проводить исследования по разработке биологических методов прямого действия на сорняк угнетая его развитие, основанных на естественных процессах.

Следует отметить, что полностью уничтожить борщевик в отдельно взятом регионе невозможно. Семена растения тут же будут принесены с соседних территорий ветром, птицами, транспортом, сведя на нет все предпринятые усилия. Жизнь диктует необходимость слаженной совместной работы, объединения усилий, принятия программы на федеральном уровне – это поможет применить уже известные методы с максимальной эффективностью, раз и навсегда уничтожить злейшего врага бескрайних российских просторов.

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. Садовникова Т. П., Ульяновкина Т. Д., Снакин В. В. Опасный интродуцент: борщевик Сосновского // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2018. № 3 (155). С. 61–65.
2. Семенова И. С. Риск инвазии на примере распространения борщевика Сосновского // Тренды современной географии и географического образования : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Курск : Курский государственный университет, 2020. С. 108–114.
3. Лунева Н. Н. Борщевик Сосновского в России: современный статус и актуальность его скорейшего подавления // Вестник защиты растений. 2013. № 1. С. 29–43.
4. Товстик Е. В., Липатников А. Е. Влияние инвазии борщевика Сосновского на состояние почв // Антропогенная трансформация геопространства: природа, хозяйство, общество : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Волгоград : Волгоградский государственный университет, 2019. С. 333–338.
5. Разработка модели переноса семян борщевика Сосновского воздушными потоками / И. В. Далькэ, И. Ф. Чадин, И. Г. Захожий, Р. В. Мальцев, Д. В. Тишин // Математическое моделирование в экологии : материалы шестой национальной науч. конф. с междунар. участием. Пушкино : ФИЦРАН, 2019. С. 70–71.
6. Товстик Е. В., Адамович Т. А., Ашихмина Т. Я. Идентификация участков массового роста борщевика Сосновского с помощью спектральных индексов по данным Sentinel-2 // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 34–40. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-034-040
7. Abramova L. M., Golovanov Y. M., Rogozhnikova D. R. Sosnovsky hogweed (*Heraclium sosnowskyi* Manden., apiaceae) in Bashkortostan // Russian Journal of Biological Invasions. 2021. No. 2. Vol. 12. P. 127–135. doi: 10.1134/S2075111721020028

8. Товстик Е. В., Широких А. А., Широких И. Г. Микробные сообщества прикорневой зоны борщевика Сосновского // Вестник современных исследований. 2018. № 10.7 (25). С. 181–186.
9. Киреева Н. Е., Кувардин Н. В. Проблема распространения борщевика Сосновского и способы борьбы с ним // Будущее науки – 2022 : сб. науч. статей 10-й Междунар. молодежной науч. конф. Т. 4. Курск : Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 289–292.
10. Шкляревская О. А. Нормы внесения гербицида Магнум в борьбе с борщевиком Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) // Земледелие и растениеводство. 2017. № 5. С. 34–37.
11. Шкляревская О. А. Экономическая эффективность механических и химических методов борьбы с борщевиком Сосновского // Защита растений. 2019. № 43. С. 120–127.
12. Берестецкий А. О. Перспективы разработки биологических и биорациональных гербицидов // Вестник защиты растений. 2017. № 1 (91). С. 5–12.
13. Способ защиты земель от распространения борщевика Сосновского / Д. А. Шаповалов, Н. А. Озерова, М. Г. Кривошеина, А. Л. Озеров, В. А. Широкова, А. О. Хуторова, А. А. Озерова // Патент РФ № 2750754 от 02.07.2021.
14. Экологические способы борьбы с инвазивным видом борщевиком Сосновского / Н. Н. Семчук, О. В. Балун, С. Н. Гладких, А. Н. Переконский // Агрэкоинженерия. 2022. № 4 (113). С. 104–114.
15. Рекомендации по борьбе с борщевиком Сосновского в личных подсобных хозяйствах (в редакции от 01.03.2022 г). СПб. : Филиал ФГБУ «Россельхозцентр» по Ленинградской области. 2022. 2 с.
16. Результаты исследования воздействия излучателя ИСЧ-19 на свойства почвы при угнетении борщевика Сосновского / А. В. Кудрявцев, И. С. Калинин, Ш. М. Бабаев, В. В. Голубев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. № 1 (42). Т. 68. С. 99–104. doi: 10.22314/2658-4859-2021-68-1-99-104

ОЦЕНКА ОСТРОЙ ТОКСИЧНОСТИ МИКРОЧАСТИЦ ПОЛИСТИРОЛА И ДИОКСИДА ТИТАНА ПО ВЫЖИВАЕМОСТИ *DAPHNIA MAGNA*

Э. И. Насырова¹, О. В. Никитин¹, В. З. Латыпова^{1,2}
¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет,
naselvira@mail.ru, olnova@mail.ru,
² Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
escoanrt@yandex.ru

В работе представлены результаты исследования острой токсичности микрочастиц полистирола, нано- и микрочастиц диоксида титана по выживаемости *Daphnia magna* и визуальной оценке содержания данных частиц в пищеварительном тракте тест-объекта.

Ключевые слова: микропластик, наночастицы, токсичность, зоопланктон.

Внимание к проблеме повсеместного присутствия нано- и микроразмерных частиц в поверхностных водных объектах увеличивается с каждым

годом, соответственно растет и количество научных исследований, связанных с изучением влияния данных загрязняющих веществ на живые организмы [1]. Попадающие внутрь гидробионтов частицы способны оказывать негативное воздействие физиологического, биохимического и механического характера. Одним из предметов пристального изучения является специфика воздействия микропластика [2], а также наноматериалов на пищеварительную систему водных организмов [3]. Сведения, имеющиеся в научных публикациях, о реакциях животных на заглатывание частиц различаются, поскольку специфика воздействия может зависеть от типа материала, размера фракций или концентрации. Один из широко распространенных видов *Daphnia magna* обитает в пресноводных водоемах и является важным компонентом трофических систем, а также часто используемым модельным организмом в экотоксикологических исследованиях [4]. Питаются дафнии фитопланктоном, который попадает в ротовое отверстие в процессе фильтрации тока воды.

Цель работы – оценка острой токсичности микрочастиц полистирола, нано- и микрочастиц диоксида титана по выживаемости *D. magna* и содержания этих частиц в их пищеварительном тракте.

В работе было исследовано влияние микрочастиц полистирола и нано-частиц диоксида титана (TiO_2) посредством оценки их острой токсичности у планктонных ракообразных *D. magna* Straus в течение 48 часов в соответствии с ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06. Регистрацию смертности рачков осуществляли как в контрольных, так и в опытных условиях каждые 24 часа после начала экспозиции в шести повторностях.

Микропластик был получен путем измельчения пищевого полистирола и пропущен через металлическое сито с размером ячеек 100 мкм. В эксперименте были применены частицы микрополистирола с концентрациями 10, 50, 125 и 200 мг/л. Частицы TiO_2 были приобретены в розничной продаже (в виде белого пигмента для изготовления косметических средств или украшения пищевых продуктов), размер которых, определенный с помощью лазерного дифракционного анализатора Hydro 2000S (Malvern Instruments), находился в диапазоне 0,035–158 мкм, с относительным вкладом наноразмерных частиц TiO_2 ($\leq 0,1$ мкм), составившим 41,5%. Экспозиционные концентрации частиц TiO_2 – 10, 50, 100, 150 мг/л.

В качестве тест-объекта была использована лабораторная культура *D. magna*, выращенная в соответствии с ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06 в климатостате В4 (Энерголаб).

Экспериментальные результаты острой токсичности загрязняющих материалов по количественной оценке смертности дафний приведены в таблице.

Острая токсичность наночастиц полистирола и диоксида титана, оцененная по смертности *D. magna* при времени экспозиции 24 и 48 ч

С, мг/л	Повторность						Всего	Смертность, %
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6		
Частицы полистирола, 24 ч экспозиции								
Контроль	5	5	5	5	5	5	30	0
10	5	5	5	5	5	5	30	0
50	5	5	5	5	5	5	30	0
125	5	5	5	5	5	5	30	0
200	4	4	5	5	5	5	28	7
Частицы полистирола, 48 ч экспозиции								
Контроль	5	5	5	5	5	5	30	0
10	5	4	5	5	5	5	29	3
50	4	5	4	3	4	5	25	17
125	5	5	4	3	3	3	23	23
200	2	2	2	3	3	3	15	50
Частицы диоксида титана, 48 ч экспозиции								
Контроль	5	5	5	5	5	5	30	0
10	5	5	5	5	5	5	30	0
50	5	5	5	5	5	5	30	0
100	5	5	5	5	5	5	30	0
150	5	5	5	5	5	5	30	0
Частицы диоксида титана, 48 ч экспозиции								
Контроль	5	5	5	5	5	5	30	0
10	5	5	5	5	5	4	29	3
50	5	4	5	5	5	4	28	7
100	4	4	5	4	4	5	26	13
150	4	4	4	4	4	4	24	20

Существенное количество погибших особей было обнаружено лишь через 48 часов воздействия и только для высоких концентраций веществ. Во всех остальных случаях в рассматриваемом диапазоне концентраций острая токсичность отсутствовала. Визуальная оценка содержания пищевого тракта рачков (рис.) выявила значительное присутствие как микрочастиц полистирола, так и нано- и микрочастиц TiO_2 даже при концентрациях 50 мг/л.

Результаты исследования демонстрируют отсутствие летального исхода в экспериментальных условиях через 24 ч экспозиции и при использовании малых концентраций исследуемых частиц. При этом достоверно обнаруживается наполненность пищеварительного тракта тест-объекта частицами микрополистирола, а также нано- и микрочастицами TiO_2 . Причина существенной токсичности микропластика в отношении дафний при концентрациях 125–200 мг/л не ясна. Стоит отметить, что подобные концентрации данных материалов практически не встречаются в природных экосистемах [5]. Возможной причиной подобного результата могло служить чрезмерное содержание вещества в среде, создающее ограничения для нормальной жизнедеятельности организма.



Рис. Внешний вид и содержание пищевого тракта дафний после 48 ч экспозиции с применением микрочастиц полистирола с концентрацией 50 мкг/л (слева) и нано- и микрочастиц диоксида титана с концентрацией 50 мкг/л (справа)

Таким образом, наполненность пищеварительного тракта частицами полистирола и TiO_2 не всегда приводит к летальному исходу у дафний, при этом важно учитывать исследования с применением других типов материалов, размеров фракций или концентраций. Также незначительный летальный отклик на частицы в рассматриваемых диапазонах концентраций веществ не является признаком отсутствия вредного воздействия. В научных публикациях имеются сведения о наличии значимого влияния на рачков при проведении других методов оценки токсичности как микрополистирола [2], так и диоксида титана [3]. Для более достоверного анализа токсичности необходимо комбинирование различных методов, например, поведенческих, биохимических, физиологических.

Библиографический список

1. Микроскопические частицы синтетических полимеров в пресноводных экосистемах: изученность и современное состояние / О. В. Никитин, В. З. Латыпова, Т. Я. Ашихмина, Р. С. Кузьмин, Э. И. Насырова, И. И. Харипов // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 241–249. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-242-249
2. Влияние частиц микропластика полистирола на морфологические и функциональные показатели *Daphnia magna* / О. В. Никитин, Э. И. Насырова, Р. С. Кузьмин, Л. М. Миннегулова, В. З. Латыпова, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 196–203. doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-196-203
3. Three-dimensional analysis of the swimming behavior of *Daphnia magna* exposed to nanosized titanium dioxide / C. Noss, A. Dabrunz, R. R. Rosenfeldt, A. Lorke, R. Schulz // PLoS ONE. 2013. Vol. 8. No. 11. Article No. e80960. doi: 10.1371/journal.pone.0080960
4. Олькова А. С., Фокина А. И. *Daphnia magna* Straus в биотестировании природных и техногенных сред // Успехи современной биологии. 2015. Т. 135. С. 380–389.

5. Lenz R., Enders K., Nielsen T. G. Microplastic exposure studies should be environmentally realistic // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2016. Vol. 113. P. E4121–E4122. doi: 10.1073/pnas.1606615113

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ МИКРОПЛАСТИКА КАК ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ (краткий обзор)

Е. Н. Сизова, Л. Н. Шмакова
Кировский государственный медицинский университет,
cizovahelena@mail.ru

В статье собраны доказательства, что за последние пять лет произошло значительное увеличение количества опубликованных исследований по теме загрязнения микропластиком окружающей среды. В связи с этим достаточно сложно найти актуальную и достоверную информацию по данной проблеме. Целью данной статьи является описание новых источников микропластика как загрязнителя и создание информационной основы для ссылок на актуальные и новейшие научные источники в этой области.

Ключевые слова: микропластик, загрязнение окружающей среды, человек.

С 1950-х годов производство пластика экспоненциально растет. Так, в настоящее время первичного пластика ежегодно производится около 360 млн т [1], часть которого, попав в окружающую среду, превращается в микропластик (менее 5 мм), который из-за малой величины трудно удалить из биосферы. Микропластик обнаружен во всех уголках земного шара – от Антарктиды [2] до пустынь [3]. В связи с этим за последние пять лет популярность исследований микропластика как загрязнителя значительно возросла. Целью данного краткого обзора является обобщение знаний о новых источниках микропластика, который в дальнейшем можно использовать как инструмент будущих исследований.

Чайные пакетики. Неожиданным, но ощутимым источником загрязнения микропластиком за последние два года стал один из самых популярных напитков в мире – пакетированный чай. Использование пластиковых материалов для изготовления чайных пакетиков призвано повысить целостность пакетика после его погружении в кипяток. Исследование Hernandez et al. [4] показало, что в одной чашке чая с заваренным чайным пакетиком из нейлона и полиэтилена образуется 11,6 млрд частиц микропластика и 3,1 млрд частиц – нанопластика. Но другие исследователи [5] обнаружили, что микропластика из пакетированного чая на чашку выделяется только 504 частицы. Различия в исследованиях весьма значительны, какое количество достоверно выделяется микропластика, пока не ясно. Очевидно только одно, что микропластик из таких чайных пакетиков действительно выделяется.

Предприятия по переработке пластика. Предприятия по переработке пластика необходимы для снижения общего количества пластиковых материалов, но в последнее время они были замечены как потенциально крупные загрязнители микропластиком окружающей среды. Когда пластиковые отходы попадают на предприятие по переработке, их измельчают [6], промывают для удаления пищевых отходов или клеев [7], что приводит к попаданию микропластика в сточные воды и окружающую среду. Исследования в этой области только начались, и первые результаты подтвердили, что микропластик, как загрязнитель, связан с предприятиями по его переработке [8, 9]. Необходимы дальнейшие исследования для определения значимости последствий такого загрязнения и его существенного уменьшения.

Крошка резины на детских площадках. Перед отраслью управления отходами стоят серьезные проблемы по утилизации автомобильных шин с истекшим сроком эксплуатации: от незаконного складирования до трудностей с захоронением. Было предпринято много попыток утилизации этих отходов, но в настоящее время идеальное решение не найдено [10]. Стояла цель превратить отслужившие свой срок шины в продукт многоразового использования. Например, переработать шины в резиновую крошку, которую можно использовать как мягкое покрытие для игровых площадок. Однако существенным недостатком этого метода переработки стало то, что резиновая крошка превратилась в источник загрязнения окружающей среды микропластиком [11]. AUSMAP – программа гражданской науки в Австралии в сотрудничестве с ReefClean исследовали потери резиновой крошки на игровых площадках в водосборном бассейне Большого Барьерного рифа [12]. В отчете показано, что с игровых площадок в водосборную зону смыто с осадками около 1,2 млн резиновых крошек. Когда-то использование резиновой крошки для покрытия игровых площадок считалось отличной методикой утилизации отработанных шин, однако выяснилось, что она является новым источником непреднамеренного выброса микропластика в окружающую среду.

Медицинские отходы. Во время пандемии COVID-19 значительно выросло использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) с целью снижения распространения инфекции. Для снижения затрат большая часть СИЗ, используемых в больницах, изготавливается из пластика, обычно из полипропилена [13]. При значительном увеличении количества одноразовых пластиковых СИЗ возникает потенциальная угроза неправильной их утилизации. Недавние исследования показали, что медицинские отходы с высокой вероятностью станут значительным источником микропластического загрязнения окружающей среды [14]. В связи с этим важно обеспечить надлежащую утилизацию отходов СИЗ.

Следует отметить, что риски растущего характера загрязнения окружающей среды микропластиком для здоровья человека пока неясны. Имеющаяся на данный момент информация не позволяет сделать об этом однозначных выводов. Важно отслеживать и продолжать исследования в этой области, по-

сколькx, по разным оценкам, человек проглатывает 39000–52000 частиц микропластика в год [15].

Библиографический список

1. Geyer R. Plastic waste and recycling // Academic Press. 2020. P. 13–32. doi: 10.1016/B978-0-12-817880-5.00002-5
2. Gurumoorthi K., Luis A. J. Recent trends on microplastics abundance and risk assessment in coastal Antarctica: Regional meta-analysis // Environ Pollut. 2023. Vol. 324. doi: 10.1016/j.envpol.2023.121385
3. Microplastics in the Lut and Kavir Deserts, Iran / S. Abbasi, A. Turner, M. Hoseini, H. Amiri // Environ Sci Technol. 2021. Vol. 55. No. 9. P. 5993–6000. doi: 10.1021/acs.est.1c00615
- 4 Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into Tea / L. Hernandez, E. Xu, H. Larsson, V. Maisuria, N. Tufenkji // Environ Sci Technol. 2019. Vol. 53. No. 21. P. 12300–12310. doi: 10.1021/acs.est.9b02540
5. Is there tea complemented with the appealing flavor of microplastics? A pioneering study on plastic pollution in commercially available tea bags in Bangladesh / S. Afrin, M. M. Rahman, M. A. Akbor, A. Siddique, Kh. Uddin, G. Malafaia // Sci Total Environ. 2022. Vol. 837. doi: 10.1016/j.scitotenv. 2022.155833
6. Flizikowski J., Kruszelnicka W., Macko M. The development of efficient contaminated polymer materials shredding in recycling processes // Polymers. 2021. Vol. 13. No. 5. P. 41–44. doi: 10.3390/polym13050713
7. Treating and reusing wastewater generated by the washing operations in the non-hazardous plastic solid waste recycling process: Advanced method vs. conventional method / V. G. Altieri, M. De Sanctis, D. Sgherza, E. Barca, C. Iaconi, S. Pentassuglia // J Environ Manage. 2021. Vol. 284. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112011
8. Ignored microplastic sources from plastic bottle recycling / Y. Guo, X. Xia, J. Ruan, Y. Wang, J. Zhang, G. LeBlanc, L. An // Sci Total Environ. 2022. Vol. 838. doi: 10.1016/j.scitotenv. 2022.156038
9. Mechanical recycling of plastic waste as a point source of microplastic pollution / G. Suzuki, N. Uchida, L. H. Tuyen, H. Matsukami, T. Kunisue, Sh. Takahashi, Ph. Viet, H. Kuramochi, M. Osako // Environ Pollut. 2022. Vol. 303. doi: 10.1016/j.envpol.2022.119114
10. Arot E., Asrah H., Lim C. H. A review on the effect of crumb rubber in civil engineering applications // J Phys. 2022. Vol. 2314. No. 1. doi: 10.1088/1742-6596/2314/1/012027
11. Environmental consequences of rubber crumb application: Soil and water pollution / J. Fořt, K. Kobetiřova, M. Bohm, V. Jelinkova, M. Vachtlova, F. Bureř, R. Āerny // Polymers. 2022. Vol. 14. No 7. doi: 10. 3390/polym14071416
12. Rubber crumb loss assessment from play areas in the Great Barrier Reef Catchment 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ausmap.org/post/rubber-crumb-research-released> (дата обращения: 10.10.2023).
13. De-la-Torre G. E., Aragaw T. A. What we need to know about PPE associated with the COVID-19 pandemic in the marine environment // Mar Pollut Bull. 2021. Vol. 163. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111879
14. Generation and consequence of nano/microplastics from medical waste and household plastic during the COVID-19 pandemic / A. A. Mohana, M. M. Islam, M. Rahman, S. K. Pramanik, N. Haque, Li Gao, B Pramanik. // Chemosphere. 2023. Vol. 311. doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.137014
15. Human consumption of microplastics / K. Cox, G. Covernton, H. Davies, J. Dower, F. Juanes, S. Dudas // Environ Sci Technol. 2019. Vol. 53. No. 12. P. 7068–7074. doi: 10.1021/acs.est.9b01517

ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОПЛАСТИКА В МЫШЦАХ ЛЕЩА МЁШИНСКОГО ЗАЛИВА (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)

Н. Ю. Степанова, К. А. Шевчук, У. А. Вьюшкова
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
nstepanova.kazan96@gmail.com

В статье приводятся данные о содержании микропластика в мышцах леща, обитающего в Мёшинском заливе Камского устья Куйбышевского водохранилища. Определено среднее содержание частиц на уровне $0,2 \pm 0,1$ ед/г при средней длине 481 ± 443 мкм с преобладанием нитей над фрагментами.

Ключевые слова: микропластик, лещ *Abramis brama*, река Мёша.

Начиная с середины 20 века пластик и органические полимеры широко используются в промышленности и быту. В настоящее время пластик широко распространен в компонентах окружающей среды в результате поступления со сточными водами населенных мест, использования синтетического укрывного материала в сельском хозяйстве, замусоривания территории и др. Такие естественные факторы, как ветер, ультрафиолетовое излучение, температура, эрозия берегов, поверхностный сток, штормовые явления и наводнения приводят к распаду и распространению пластика в водных экосистемах. В настоящее время проблема пластикового, в том числе микропластикового, загрязнения водных объектов становится глобальной и требует проведения исследований о его влиянии на биотическую составляющую водных экосистем.

Анализ публикационной активности, посвященной проблеме микропластика (МП) в пресноводных экосистемах [1], показал, что основная часть статей посвящена исследованию содержания микропластика в воде, донных отложениях и прибрежной зоне, в то время как на долю статей по изучению содержания МП в тканях и органах рыб приходится 8 и 17% в лентических и лотических системах соответственно.

Актуальность изучения содержания и влияния МП на физиологические и биологические показатели рыб связана также с возможностью его поступления в организм человека по пищевой цепи [2].

Цель данной работы – определить содержание и охарактеризовать МП в мышцах леща *Abramis brama*, обитающего в районе Камского устья (Мёшинский залив).

Река Мёша – правый приток Камы, впадает в Камский залив Куйбышевского водохранилища. Отбор проб производили в июне и сентябре 2022 г. Отлов рыбы (лещ *A. brama*) осуществляли на станции контрольного лова Татарского филиала ФГБНУ «ВНИРО» сетями с ячейей 36–90 мм. Общее количество образцов рыбы составило 15 экземпляров возраста 6–7 лет, с массой 892 ± 109 г, длиной $32,5 \pm 1,3$ см, шириной $13,9 \pm 1,1$ см.

Для выделения МП из спинной мышцы у каждого экземпляра рыбы вырезали образец массой 10 г, заливали 10% раствором КОН в соотношении 1:20 по сырому весу и выдерживали на водяной бане при $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 48 часов [3]. Раствор фильтровали последовательно через металлическое сито с размером ячеек 2 мм и 120 мкм, промывали 70% раствором этилового спирта для удаления жира. Частицы МП идентифицировали под микроскопом, размер определяли при помощи окуляр-микрометра.

Не все исследованные образцы рыбы содержали МП, встречаемость частиц в мышцах рыбы составила 80%, что, в сравнении с литературными данными [4], выше в 1,5–2 раза.

Среднее количество обнаруженных частиц МП составило $0,2 \pm 0,1$ единиц в пересчете на 1 г образца (табл.) при средней длине 481 ± 443 мкм, ширине 26 ± 20 мкм и рассчитанной массе 448 ± 339 мкг. Полученные нами данные превышают отмечаемые в литературе [4] в 3,5 раза. Содержание МП в рыбе зависит от места обитания и типа питания. Речная рыба содержит МП больше по сравнению с морской, что связано с флотацией МП в воде большей плотности.

Распределение частиц по форме составило: фрагменты – 19%, нити – 81%, пленок и гранул обнаружено не было. Статистические характеристики нитей и фрагментов отличаются значительно, по длине и массе нити превышают размерные показатели фрагментов в 10 и 3 раза соответственно.

Таблица

Статистические характеристики частиц микропластика в мышцах леща

Показатель	Среднее	Станд. откл.	Медиана	Мин.	Макс.
Всего					
Количество, ед/г	0,20	0,10	0,16	0,08	0,47
Длина, мкм	481	443	434	33	1519
Ширина, мкм	26	20	17	10	82
Масса, мкг	448	339	372	78	1274
Фрагменты					
Количество, ед/г	0,07	0,01	0,07	0,06	0,09
Длина, мкм	63,8	39,4	50,8	33,2	141,5
Ширина, мкм	46,2	23,7	37,5	20,4	81,8
Масса, мкг	205,2	193,9	113,1	78,1	574,0
Нити					
Количество, ед/г	0,15	0,09	0,15	0,06	0,4
Длина, мкм	675,7	408,1	549,3	211,1	1518,6
Ширина, мкм	15,6	6,3	14,0	10,0	32,9
Масса, мкг	601,0	370,7	495,6	208,6	1273,8

Наибольший вклад в распределение МП по длине составляют частицы длиной 151–1500 мкм (77%), а также мелкая фракция, размером менее 100 мкм (17%) (рис. 1). В литературе отмечается преобладание в мышцах рыб *Dicentrarchus labrax*, *Trachurus trachurus* и *Scomber colias* таких же размерных частиц [4].

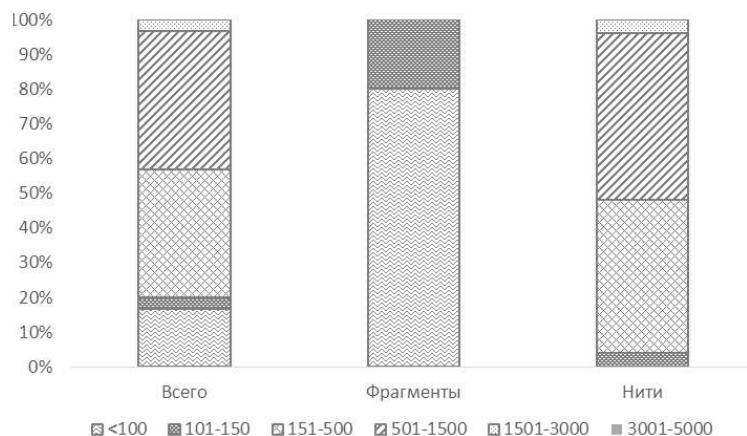


Рис. 1. Распределение частиц МП по длине (мкм)

По цвету преобладали частицы белые и бесцветные (39 и 22% соответственно), цветные частицы встречались в равных количествах, по 13% каждого цвета (рис. 2).

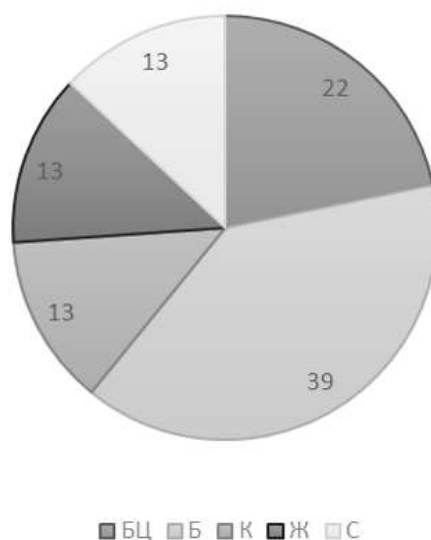


Рис. 2 Распределение частиц МП по цвету (БЦ – бесцветные, Б – белые, К – красные, Ж – желтые, С – синие)

При среднелюдовом фактическом потреблении свежей рыбы на уровне 12 кг/год и рекомендованном Роспотребнадзором РФ 22 кг/год количество МП, поступающего в организм человека, может составить 2089 и 5149 частиц соответственно. При регулярном употреблении местной рыбы населением масса МП может составить 974 и 1786 мг соответственно.

Таким образом, проведенное исследование показало относительно высокий уровень содержания МП в мышцах бентосоядных рыб (лещ *Abramis brama*), обитающих в районе Мёшинского залива Камского устья Куйбышевского водохранилища, с преобладанием нитей размером 150–1500 мкм. При небольшом уровне душевого потребления рыбы количество частиц МП, поступающего в организм человека, находится на уровне, отмеченном в лите-

ратуре для таких стран, как Португалия и Испания с большим потреблением рыбы населением [4].

Библиографический список

1. Cera A., Cesarini G., Scalici M. Microplastics in freshwater: what is the news from the world? // *Diversity*. 2020. Vol. 12. Article No. 276. doi: 10.3390/d12070276
2. Bhuyan M. S. Effects of microplastics on fish and in human health // *Front. Environ. Sci.* 2022. Vol. 10. Article No. 827289. doi: 10.3389/fenvs.2022.827289
3. Ingestion and depuration of MPs by a planktivorous coral reef fish, *Pomacentrus amboinensis* / M. F. Santana, A. L. Dawson, C. A. Motti, L. van Herwerden, C. Lefevre, F. J. Kroon // *Front. Environ. Sci.* 2021. Vol. 9. Article No. 79. doi: 10.3389/fenvs.2021.641135
4. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure / L. G. A. Barboza, C. Lopes, P. Oliveira, F. Bessa, V. Otero, B. Henriques, J. Raimundo, M. Caetano, C. Vale, L. Guilhermino // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 717. Article No. 134625. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134625

КОНТРОЛЬ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВДОЛЬ ТРАССАХАЛИНСКОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ МАКАРОВСКОГО РАЙОНА)

А. С. Харыбина, К. Д. Воротынецв

*РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,
kharybina.a@gubkin.ru*

В статье описаны опасные геологические процессы, возникающие вдоль полосы землеотвода транссахалинской трубопроводной системы, факторы их активизации, а также риски, к которым они приводят. Приведены результаты создания базы данных опасных геологических процессов на базе программного обеспечения ArcGIS, в которую вошел спектр различных данных: результаты производственного мониторинга, данные визуального осмотра, а также информация, полученная из открытых источников.

Ключевые слова: транссахалинская трубопроводная система, опасные геологические процессы, землетрясения, аварийные разливы, база данных, дистанционное зондирование земли, остров Сахалин.

В настоящий момент в Сахалинской области осуществляется ряд нефтегазовых проектов: «Сахалин-1» (оператор – АО «Сахалинморнефтегаз-Шельф»), «Сахалин-2» (оператор – ООО «Сахалинская Энергия»), «Сахалин-3» (оператор – ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск»), которые являются поставщиками углеводородов для газотранспортных сетей Дальнего Востока и стран Азиатско-Тихоокеанского региона [1].

Одним из сложнейших реализованных проектов на территории острова Сахалин является транссахалинская трубопроводная система, которая имеет протяженность более 800 км и соединяет добычные платформы и производ-

ственный комплекс «Пригородное» проекта «Сахалин-2». Для острова Сахалин контроль опасных геологических процессов (ОГП) при эксплуатации линейных объектов имеет большое значение ввиду сложных геологических, геодинамических и климатических условий. Для острова характерно не только проявление сейсмических явлений, но и экзогенных и склоновых процессов – лавин, оползней, селей, речной эрозии [2].

На территории Макаровского района ввиду сильной расчлененности рельефа, пересечения активных тектонических разломов в 5 местах, а также большого количества водотоков, риск формирования перечисленных процессов наиболее велик. Поэтому участок транссахалинской трубопроводной системы является объектом изучения данной работы.

На этапе проектирования и строительства транссахалинской трубопроводной системы Дальневосточным отделением РАН проводились исследования ОГП, в том числе на территории Макаровского района. Полученные результаты позволили судить о том, что наиболее опасными процессами для данной территории являются лавинные, селевые, оползневые и русловые процессы. Они были изучены в работе Н. А. Казакова и Ю. В. Генсиоровского [3].

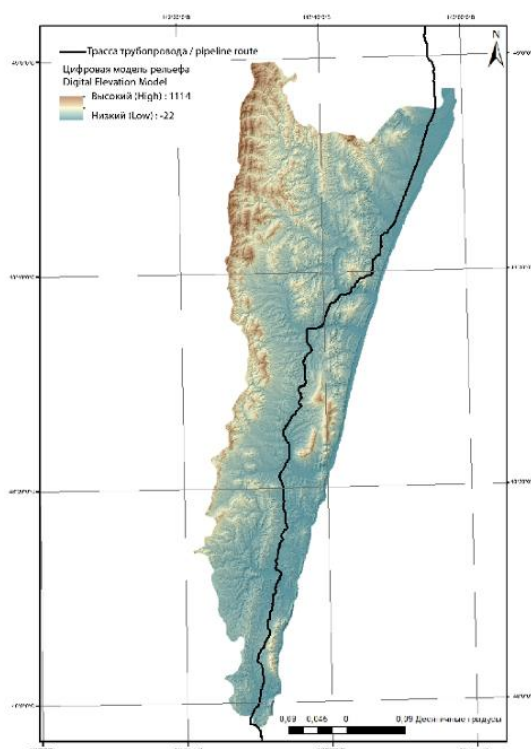


Рис. 1. Цифровая модель рельефа (ЦМР) с примененной теневой отмывкой рельефа, созданная на базе ПО ArcGIS

С целью обеспечения безопасности транссахалинской трубопроводной системы в ГИС-системе ArcGIS (рис. 1) была создана база данных, содержащая информацию об опасных природных процессах, повышающих риск разрыва трубопроводов и, соответственно, утечек углеводородов. В рамках исследования были использованы данные ежегодного производственного мони-

торинга компании ООО «Сахалинская Энергия» (рис. 2). Мониторинговые мероприятия в 2019 и 2020 гг. осуществлялись на 14 контрольных участках [4]. Результаты мониторинга позволили судить об эффективности рекультивационных работ для снижения риска проявления ОГП, а также уменьшения тяжести их последствий для объекта исследования.

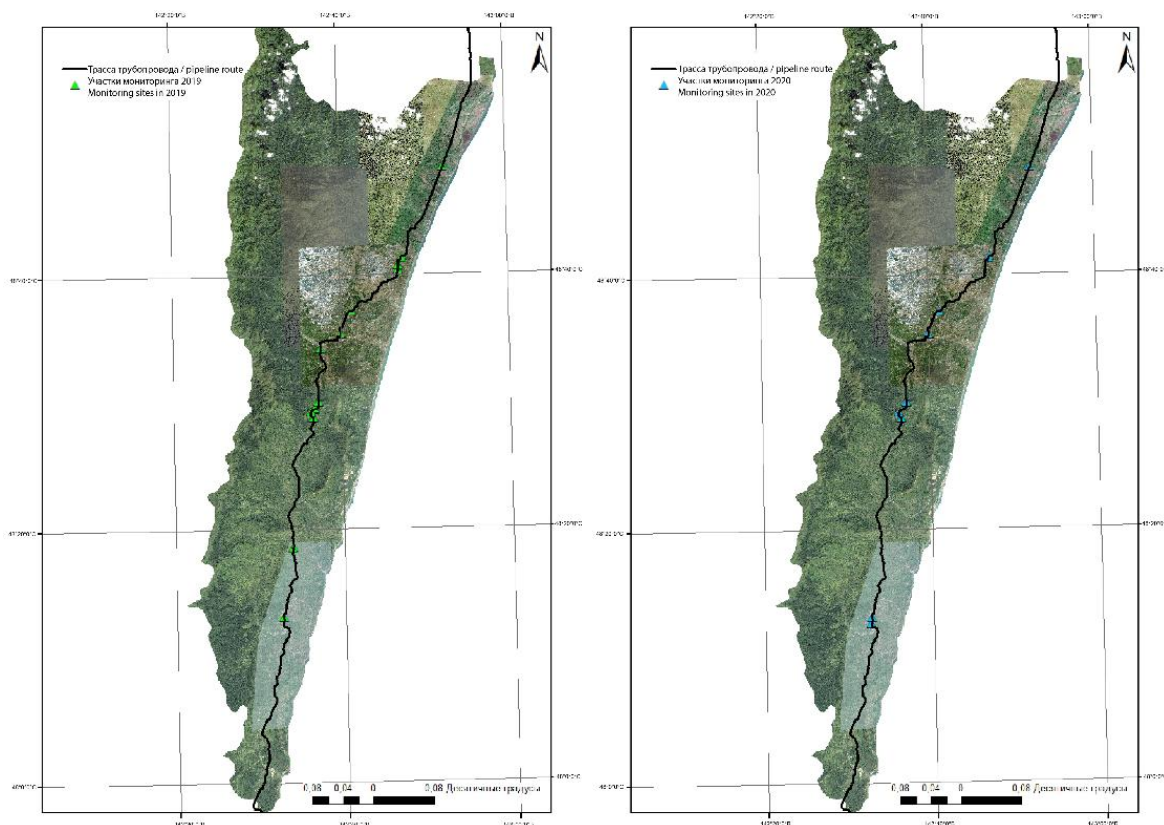


Рис. 2. Зоны производственного мониторинга в 2019 и 2020 гг.

С помощью портала Геологической службы США (USGS) EarthExplorer, предоставляющего доступ к снимкам спутника дистанционного зондирования Земли Landsat-8, полоса землеотвода на территории Макаровского района была изучена визуальным методом на наличие ОГП.

Итогом проведенной работы стало формирование на базе ПО ArcGIS базы данных опасных геологических процессов, куда вошла информация не только об участках проявления ОГП, но и пунктах мониторинга, а также участках развития склоновых процессов и возможных нефтеразливах на полосе землеотвода, выявленных в ходе визуального мониторинга [5]. Одним из элементов базы данных стала информация об очагах землетрясений, произошедших с 15 марта 1924 г. по 26 февраля 2022 г., по данным открытых порталов ФИЦ ЕГС РАН и Геологической службы США (рис. 3). Полученные данные показали, что для исследуемой территории не характерны землетрясения с магнитудой выше 5, а интенсивность землетрясений за период повторения 200 и 1000 лет составляет 8,5 и 9,8 баллов по шкале MSK-64.

Анализ методов и результатов экологического мониторинга трассы трубопровода, а также мер, применяемых в компании для снижения воздействия со стороны опасных геологических процессов, показал их эффективность, благодаря чему возможны продление срока службы трубопроводов и его безаварийная эксплуатация.

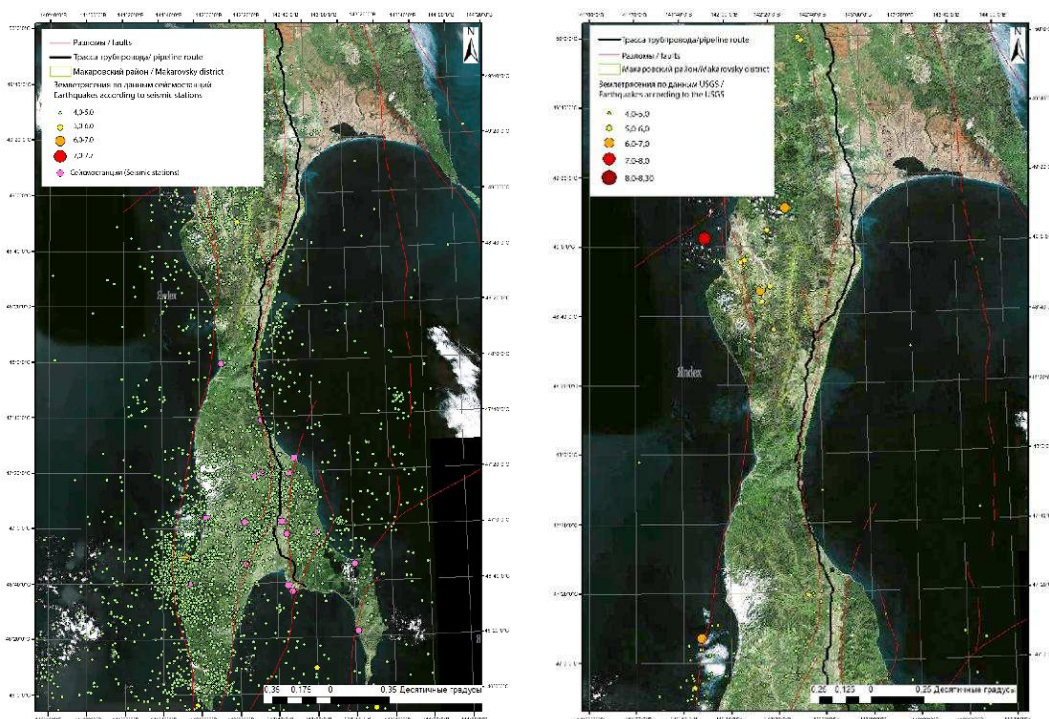


Рис. 3. Местонахождение очагов землетрясений относительно разломов на острове Сахалин и шельфе:
 а) с 08.01.2003 г. по 31.12.2019 г. (ФИЦ ЕГС РАН);
 б) с 15.03.1924 г. по 26.02.2022 г. (Геологическая служба США)

В решении задач обеспечения безопасного функционирования трубопроводного транспорта мониторинговые мероприятия и своевременное принятие мер по недопущению аварийных ситуаций или их деэскалации имеют решающее значение. При этом экологический мониторинг предпочтительнее выполнять с помощью новейших технологий, например, радарной интерферометрии с целью обнаружения вертикальных подвижек земной поверхности в дополнение к классическим методам наблюдений, а также инфракрасных (ИК) камер для детектирования утечек метана из газопровода. Данные технологии позволяют свести к минимуму риски при эксплуатации нефтегазопровода в условиях повышенной тектонической активности и развития опасных склоновых процессов.

Библиографический список

1. Харьбина А. С., Ванчугов И. М., Жаркова В. В., Афанасьев А. В. Выявление геоэкологических рисков эксплуатации производственного комплекса «Пригородное» в рамках нефтегазового проекта «Сахалин-2» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2023. № 4 (313). С. 34–41.

2. Харьбина А. С., Казаков А. Д., Юмашева А. К. Оценка факторов геоэкологического риска при эксплуатации производственного комплекса «Пригородное» // Морские исследования и образование (MARESEDU-2020) : сб. трудов IX Междунар. науч.-практ. конф. Тверь, 2020. С. 343–346.

3. Казаков Н. А., Генсиоровский Ю. В. Экзогенные геодинамические и русловые процессы в низкогорье о. Сахалин как факторы риска для нефтегазопроводов «Сахалин-2» // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2008. № 6. С. 483–496.

4. Биологическая рекультивация территорий Крайнего Севера, нарушенных в результате деятельности нефтегазового комплекса / А. С. Харьбина, А. К. Юмашева, Д. А. Белов, М. А. Миронова // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа : коллективная монография по материалам XI Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (ГЕОКАВКАЗ 2021)». М., 2021. С. 423–426.

5. Хромых В. В., Хромых О. В. Цифровые модели рельефа. Томск : Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007. 178 с.

ЗЕЛЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ КАК КОМПОНЕНТЫ УРБОЭКОСИСТЕМЫ: ИХ ФУНКЦИИ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ (НА ПРИМЕРЕ г. ВОРОНЕЖА)

К. А. Плотникова

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
kristiiu@mail.ru*

В статье дана оценка качества зеленых зон г. Воронеж на примере одного из районов города. Административным органам были рекомендованы меры по устранению патологий деревьев: санитарная и омолаживающая обрезки, в наиболее сложных случаях – выпил и удаление древостоя.

Ключевые слова: геоэкология, урбанизация, зеленые насаждения общего пользования, дендрофлора.

Природная среда играет важную роль в развитии общества, особенно в условиях урбанизации и глобализации. Городские зеленые насаждения, несмотря на сокращение их площадей из-за застройки, становятся ключевым элементом в улучшении качества жизни в городах [1]. Однако они подвергаются постоянному и интенсивному антропогенному воздействию, что требует оперативного и тщательного контроля за их состоянием. Экологическое равновесие регионов связано с состоянием экологического каркаса [2], поэтому важно соблюдать природоохранные меры, соответствующие нагрузкам на природу. Эффективный мониторинг и управление состоянием зеленых насаждений имеют критическое значение для обеспечения экологического и социального равновесия в городской среде.

Объектом исследования был выбран Коминтерновский район (Северный жилой район) г. Воронежа, т. к. он лидирует по уровню озелененности территории застройки [3]. Значительная антропогенная нагрузка на данную

территорию проявляется в высоком транспортном потоке и плотности застройки. Анализ дендрофлоры объекта был проведен в соответствии с установленными стандартами в области лесопатологического обследования. При проведении комплексных исследований для оценки состояния зеленых насаждений были применены разнообразные типовые методики, включающие таксационные, лесоводственные, экологические, географические и ботанические исследования. Основной целью обследования были анализ структуры и оценка состояния существующих лесных насаждений. Структура охватывала исследование видового состава, возрастной структуры, а также характера и плотности размещения растений. Кроме того, на исследуемом объекте была осуществлена визуальная оценка патологического состояния и степени повреждения растений, вызванных энтомофагами и антропогенными факторами.

Зеленая инфраструктура выполняет такие функции, как улавливание углерода, снижение запыленности атмосферного воздуха, контроль водного баланса, формирование микроклимата и т. д. Для получения информации о ценностном отношении жителей района к зеленым зонам был проведен социологический опрос. По результатам работы было отмечено, что зеленые насаждения района являются важным фактором обеспечения благоприятной экологической обстановки за счет реализации социально-экологических функций экосистемы (экосистемных услуг).

Отдельные элементы зеленой инфраструктуры района, такие как «Северный лес», играют важную роль в обеспечении высокого качества жизни населения посредством формирования «имиджа места».

При инвентаризации куртин на объекте исследования бульвар Победы было установлено, что видовое разнообразие дендрофлоры представлено 46 видами деревьев, среди доминирующих: клён остролистный (360 шт.), тополь бальзамический (230 шт.), рябина обыкновенная (145 шт.), берёза повислая (118 шт.), вяз граболистный (99 шт.).

При оценке возрастного состава было выявлено, что большая часть насаждений относится к виргильной и генеративной группе, а именно 33,3% к 1-му классу (0–20 лет), а 55,7% – ко 2-му (20–40 лет). Это свидетельствует о равновесном уровне возобновления популяции нормального типа, где преобладающая часть её особей способна к процессам генеративного и вегетативного размножения. Можно сделать заключение, что у этой популяции высокий биотический потенциал и оптимальные условия для роста и развития. Единичные экземпляры приближаются к сенильной возрастной группе – доля зрелых деревьев в общей структуре популяции в некоторой степени компенсирует возрастное разнообразие в популяции. Данная категория составляет менее 1% от общего количества деревьев, что в значительной степени обусловлено удалением перестойных насаждений с озелененных территории для создания оптимальных условий для развития как молодых, так и зрелых деревьев. Данная ситуация предполагает возможность создания периферийных питомников, где может быть размещена часть молодых деревьев с изученной

территории для будущего использования в других ландшафтных проектах в качестве посадочного материала.

В результате обследования деревьев, произрастающих на учетном объекте, было выявлено, что состояние большей части (93,7%) насаждений относится к категории «удовлетворительное», что подразумевает наличие небольшого количества сухих ветвей, слабое цветение или же отставание в росте. Однако 6,2% объектов дендрофлоры участка имеют значительные повреждения и заражены болезнями или вредителями, угрожающими их жизни, их состояние соответствует категории «неудовлетворительное». Можно сделать вывод, что главными причинами ухудшения состояния растительности являются недостаточный уход, уплотнение почвы, механические повреждения, что снижает выполнение ими санитарно-экологических функций. Единичные экземпляры, представленные родом *Acer*, имеют «хорошее» состояние, характеризующееся отсутствием сухих ветвей, нормальным облиствением/цветением/плодоношением, правильной естественной формой, и составляют 0,1% от общего количества деревьев. Самым уязвимыми родами с многочисленными нарушениями вегетации оказались *Populus* и *Sorbus*. Корреляции между состоянием и возрастом насаждений не выявлено.

Обеспеченность озелененной территорией исследуемого объекта на 1 жителя равняется 7,3 м², что по СП 42.13330.2016 соответствует оптимуму. Тем не менее, данный показатель оказался ниже среднего значения для всей городской территории [3].

При анализе зеленых насаждений были выявлены следующие наиболее распространённые патологии объектов дендрофлоры: ожог листьев (157 шт.), сухобочина и сухостой (54 шт.), стволовая гниль (38 шт.), цитоспороз (26 шт.), бурая пятнистость деревьев (35 шт.), бурое слизетечение (24 шт.), мокрый язвенно-сосудистый рак (20 шт.).

Административным органам были рекомендованы меры по устранению данных патологий: санитарная и омолаживающая обрезки, в наиболее сложных случаях – выпил и удаление древостоя.

Библиографический список

1. Al-Ballaa H., Comber A., Smith C. Distribution Pattern Analysis of Green space in Al- Madinah using GIS // Proceedings of GISRUK. Lancaster, 2012. P. 100–107.
2. Green space and physical activity: An observational study using Health Survey for England data / O. Mytton, N. Townsend, H. Rutter, C. Foster // Health Place. 2012. Vol. 18. No. 5. P.1034–1041.
3. Плотникова К. А. Зеленая инфраструктура города Воронеж // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. : в 2 кн. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 267–270.

ЧЕМ ОПАСЕН МЕТАН?

*Г. Я. Кантор
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
Вятский государственный университет,
grigory_kantor@mail.ru*

Общепринятая оценка роли метана в формировании климата Земли сильно преувеличена вследствие некорректного применения концепции потенциала глобального потепления. Показано, что определяющим фактором величины потенциала глобального потепления парникового газа является его актуальная концентрация в атмосфере, а не спектральные характеристики. Распространённое мнение о высокой экологической опасности метана является следствием его низкой концентрации, уступающей концентрации углекислого газа более чем в 200 раз.

Ключевые слова: парниковый эффект, метан, потенциал глобального потепления.

Ответ на вопрос, поставленный в заголовке статьи, может показаться парадоксальным: метан опасен тем, что его мало. Когда в 2015 г. в научных и правительственных кругах России шла дискуссия о целесообразности присоединения к Парижскому соглашению к Рамочной конвенции ООН об изменении климата, возобладала точка зрения, что России выгодно участие в этих международных соглашениях, поскольку Россия обладает огромными лесными площадями, и её вклад в очищение атмосферы от техногенного углерода будет максимальным. Ожидалось, что когда заработают международные экономические механизмы стимулирования низкоуглеродной экономики, это будет приносить России стабильный доход от продажи квот на выброс парниковых газов. Когда соглашение уже было подписано, внезапно оказалось, что кроме лесов в России есть ещё и болота, которые выделяют метан, а климатический эффект от эмиссии метана в 25–30 раз превышает климатический эффект от эмиссии или поглощения равного количества диоксида углерода. И вот уже в только что вышедшей монографии Института глобального климата и экологии РАН [1] открытым текстом сказано: «Показано, что с высокой степенью вероятности Россия является нетто-источником парниковых газов в атмосферу». А это означает, что Россия не только не получит доходов от продажи углеродных квот, но и будет вынуждена платить международному сообществу за загрязнение атмосферы парниковыми газами.

Приведём конкретный пример, наглядно демонстрирующий всю абсурдность складывающейся ситуации. Если болото за некоторый промежуток времени поглощает 27 кг углекислого газа и выделяет 1 кг метана, то по существующим правилам оно считается нетто-источником 1 кг углекислого газа (мы принимаем здесь коэффициент парниковой эквивалентности метана, не-

удачно названный в 1990 г. потенциалом глобального потепления, равным 28 в соответствии с 5-м оценочным докладом МГЭИК 2014 года [2]). Иными словами, выброс 1 кг метана сводит на нет поглощение 28 кг углекислого газа. Разберёмся, откуда появилось это число и какое отношение оно имеет к реальности.

Сама идея свести парниковый эффект какого-либо газа к эффекту эквивалентного количества CO_2 представляется вполне разумной, однако сделать это можно разными способами. Рассмотрим на примере метана некоторые из них.

1. Эффект чистого парникового газа. Примем концентрацию CO_2 равной 417,06 ppm в соответствии с IPCC AR6 (2021 г.) [3]. Поставим вопрос: какова должна быть концентрация CH_4 , чтобы создать такой же по величине парниковый эффект? Воспользуемся простой численной моделью парникового эффекта, детально описанной в [4]. Как показано в этой статье, величина парникового эффекта определяется оптической плотностью атмосферы в диапазоне теплового инфракрасного излучения. Поэтому сначала найдём оптическую плотность, соответствующую концентрации CO_2 417,06 ppm, а затем концентрацию CH_4 , соответствующую этой оптической плотности. Отношение концентрации CO_2 к концентрации CH_4 даст искомый коэффициент климатической эквивалентности, который с гораздо большим основанием можно назвать потенциалом глобального потепления.

Для 417,06 ppm CO_2 и высоты эквивалентной атмосферы 7994 м величина оптической плотности составит 0,24608 (считаем, что CO_2 является единственным парниковым газом, а водяной пар, метан и оксид азота отсутствуют). Затем найдём концентрацию метана, которая в отсутствие других парниковых газов создаст оптическую плотность 0,24608. Эта концентрация равна 26070 ppm. Таким образом, потенциал глобального потепления метана в нашей терминологии равен $417,06/26070 = 0,016$.

2. Сделаем аналогичный расчёт, отталкиваясь от актуальной концентрации метана 1,912 ppm. Оптическая плотность атмосферы в этом случае составит 0,0318. Этой величине соответствует концентрация углекислого газа 0,3066 ppm. Потенциал глобального потепления метана в этом варианте равен $0,3066/1,912 = 0,160$. Причина десятикратного отличия от предыдущего варианта будет обсуждена ниже.

3. Рассмотрим более реалистичный случай присутствия всех четырёх парниковых газов со следующими концентрациями: H_2O – 3469 ppm; CO_2 – 417,06 ppm; CH_4 – 1,912 ppm; N_2O – 0,3357 ppm (обоснование концентрации водяного пара дано в [4]). В этом случае оптическая плотность атмосферы равна 1,4377. Добавка 1 ppm к концентрации CO_2 даёт увеличение оптической плотности на 0,000138, а добавка 1 ppm к концентрации CH_4 – на 0,00363. Потенциал глобального потепления равен $0,00363/0,000138 = 26,3$, что очень близко к принятому МГЭИК значению 28. В «классическом» варианте вместо прибавки оптической плотности рассматривается радиационный форсинг, что даёт практически такой же результат.

4. А теперь рассмотрим предыдущий вариант с той лишь разницей, что начальную концентрацию метана возьмём в 10 раз больше – 19,12 ppm. Начальная оптическая плотность будет равна 1,4604, её увеличение после прибавки 1 ppm CO₂ составит 0,000141, а после прибавки 1 ppm CH₄ – 0,000631. Потенциал глобального потепления $0,000631/0,000141 = 4,48$.

Из всего вышесказанного следует, что общепринятое понятие потенциала глобального потепления не имеет под собой никакого объективного основания. Единственной причиной больших значений потенциала является низкая начальная концентрация. Особенно хорошо это заметно на примере фторуглеродов, присутствующих в атмосфере в триллионных долях [5, 6].

Причиной описанного эффекта является нелинейная зависимость оптической плотности парниковых газов от концентрации. Это утверждение кажется неожиданным, так как химики привыкли к тому, что спектрофотометрический метод анализа основан на прямо пропорциональной зависимости оптической плотности образца от концентрации аналита. Но закон Бугера-Ламберта-Бера справедлив только для монохроматического пучка света (на практике – для узкой спектральной полосы). Тепловое инфракрасное излучение – широкополосное, что делает зависимость оптической плотности парникового газа от концентрации похожей на логарифмическую (рис.).

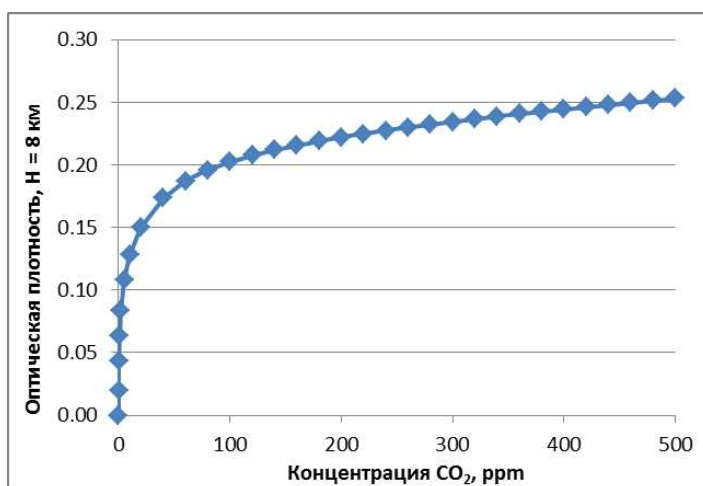


Рис. Зависимость оптической плотности углекислого газа от концентрации в диапазоне волновых чисел 0–3000 см⁻¹

Как хорошо видно на графике, при низкой концентрации углекислого газа даже незначительное её увеличение приводит к резкому росту оптической плотности и, соответственно, приземной температуры атмосферного воздуха. При более высоких современных концентрациях эта зависимость значительно ослабевает. Аналогичные зависимости характерны и для других парниковых газов.

Главное следствие из вышеизложенного: при анализе климатических последствий выброса парниковых газов в атмосферу необходимо отказаться от концепции потенциала глобального потепления как неадекватной и приводящей к глубоко ошибочным выводам.

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 № 1220401000325.

Библиографический список

1. Оценка потоков парниковых газов в экосистемах регионов Российской Федерации / под ред. чл.-корр. РАН А. А. Романовской. М. : ИГКЭ, ООО «Принт», 2023. 346 с.
2. Climate Change 2014. Synthesis Report / Ed. by R. K. Pachauri, L. Meyer [Internet resource] – URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf (accessed: 21.11.2023).
3. Climate Change 2021. The Physical Science Basis / Ed. by V. Masson-Delmotte, P. Zhai [Internet resource] – URL: https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf (accessed: 21.11.2023).
4. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В. Альтернативная оценка вклада метана в парниковый эффект // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 3. С. 197–207. doi: 10.25750/1995-4301-2023-3-197-207
5. Вклад углекислого газа и воды в парниковый эффект / Н. В. Сырчина, Г. Я. Кантор, В. Н. Пугач, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 218–223. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-218-223
6. Кантор Г. Я., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Моделирование углеродного баланса полигонов твёрдых коммунальных отходов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 198–204. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-198-204

СЕКЦИЯ 2 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

ПОЧВЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ: РАЗНООБРАЗИЕ, ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИИ

Е. М. Лантева

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

Приведены данные о распространении почв и почвообразующих пород на территории Республики Коми, охарактеризованы этапы исследования почв в регионе, выявлены пробелы в их исследовании. Отмечены проблемы диагностики и классификации почв республики в свете современной классификации почв России.

Ключевые слова: Республика Коми, почвы, разнообразие почв, классификация и диагностика почв.

Республика Коми (РК) обладает значительными земельными ресурсами, которые благодаря специфике географического положения региона характеризуются весьма разнокачественным почвенным составом. До Великой Отечественной войны территория РК и европейский Северо-Восток в целом в почвенном отношении оставалась белым пятном, хотя первые сведения о почвах этого региона появились в печати уже 1887 г. [1]. В этот период была дана характеристика почв южных регионов РК. К 1910 г. были проведены первые картографические работы и дана общая агрохимическая характеристика почв наиболее благоприятной для сельскохозяйственного освоения южной части РК. В 1920–1930-х гг. были составлены первые крупномасштабные почвенные карты для ряда колхозов, обследованы не только почвы Республики Коми, но и Малоземельской и Большеземельской тундры [2].

Систематические почвенные исследования на территории РК начались с середины 40-х гг. XX века. Они охватывали всю территорию РК и были направлены на составление почвенной карты этого обширного региона. Первая почвенная карта на территорию республики масштаба 1 : 1,5 млн была подготовлена и издана в 1954 г. [3]. В 1964 г. была опубликована Почвенная карта РК масштаба 1 : 2,5 млн [4], которая в 2010 г. была оцифрована и переведена в электронный формат [5, 6]. За почти полувековой период почвенных исследований, проведенных на территории региона сотрудниками ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, были подготовлены и опубликованы листы Государственной почвенной карты М 1:1 000 000 Р-39 «Сыктывкар», Q-39 «Нарьян-

Мар», Q-40 «Печора», P-40 «Красновишерск», Q-41 «Воркута», закрывающие территорию РК и, частично, сопредельных субъектов Российской Федерации [5].

Почвенный покров РК весьма разнообразен. Это обусловлено спецификой ее географического расположения, особенностями макро- и мезорельефа, разнообразием почвообразующих пород. Обобщенная сводка о разнообразии и свойствах почв РК приведена в ряде крупных монографий [5, 7, 8] и статьях, где рассмотрено разнообразие почв, формирующихся в горных ландшафтах Приполярного Урала [9, 10] и долинных ландшафтах рек [11].

Анализ почвенной карты РК масштаба 1: 2,5 млн [5], на которой наряду с контурами почв показано распространение почвообразующих пород, свидетельствует о значительном разнообразии их гранулометрического состава и, соответственно, гранулометрического состава формирующихся в границах РК почв (табл. 1). Основные площади (без учета площади водных поверхностей) занимают почвообразующие породы суглинистого гранулометрического состава различного генезиса – 50,3% от площади республики. Почвообразующие породы легкого гранулометрического состава (супеси, пески, в т. ч. слабогалечниковые) занимают около 36,9%. На долю двучленных отложений с различной сменой пород приходится 9,9%. Минимальную площадь занимают почвы, формирующиеся на магматических и метаморфических породах разного состава (кислых, основных), песчаниках, известняках и других карбонатных породах – 2,9%. Почвообразующие породы, содержащие щебень и валунно-галечный материал (частицы скелета почвы диаметром > 2 мм), занимают, включая территории горных ландшафтов, не менее половины площади суши РК.

Таблица 1

Распространение различных по гранулометрическому составу почвообразующих пород в границах Республики Коми

Почвообразующие породы	Площадь	
	тыс. га	% от площади республики
1	2	3
Средне- и легкосуглинистые моренные	6806,1	18,4
Средне- и тяжелосуглинистые моренные	231,4	0,6
Средне- и легкосуглинистые моренные, подстилаемые валунно-щебнистыми суглинками	4385,2	11,8
Средне- и тяжелосуглинистые пылеватые	811,8	2,2
Суглинистые пылеватые, подстилаемые моренными суглинками	161,4	0,4
Суглинистые пылеватые, подстилаемые слабогалечниковыми песками	321,7	0,9
Суглинистые пылеватые на кислых коренных породах	544,9	1,5
Суглинистые песчаные моренные, близко подстилаемые кислыми магматическими породами	269,9	0,7
Суглинистые, близко подстилаемые плотными карбонатными породами	5574,3	15,1

Окончание таблицы 1

1	2	3
Песчаные	621,5	1,7
Песчаные слабогалечниковые	6942,1	18,8
Песчаные, подстилаемые моренными суглинками	945,2	2,6
Песчаные, подстилаемые галечниковыми песками	78,5	0,2
Супесчаные	6100,7	16,5
Супесчаные, подстилаемые моренными суглинками	55,7	0,2
Супесчаные, подстилаемые карбонатными суглинками	105,2	0,3
Частая смена механического состава, преобладают супесчаные	1990,0	5,4
Кислые магматические и метаморфические породы	662,2	1,8
Основные магматические и метаморфические породы	105,7	0,3
Песчаники	265,4	0,7
Известняки и другие карбонатные породы	45,0	0,1
Итого*:	37023,7	100,0

Примечание: * – без учета площади водных объектов на территории Республики Коми.

На основе почвенной карты масштаба 1:2,5 млн [5] также выполнен расчет площадей почв, занимающих в границах республики различные ландшафты (табл. 2). Эти расчеты свидетельствуют о том, что на территории РК основные площади приходятся на почвы таежных ландшафтов – 78,5% от площади региона. Почвы, занимающие различные позиции в рельефе тундры, составляют 8,8% от площади республики, горные ландшафты Полярного, Приполярного и Северного Урала – 7,3%, включая площади гольцов, лишенных почвенного покрова. Минимальные площади, несмотря на развитую речную сеть, приходятся на почвы речных долин – 4,4%. В тундровых и горных ландшафтах, в силу специфики рельефа, основные площади приходятся на автоморфные почвы – соответственно 54,7% и 93,8% от площади этих ландшафтов. Второе место в тундре занимают почвы, приуроченные к аккумулятивным позициям в рельефе (36,3%), третье – транзитным (18,6%). В горных ландшафтах на эти позиции приходится соответственно 0,6 и 5,6%.

Таблица 2

Распределение почв Республики Коми в соответствии с ландшафтами и занимаемыми позициями в рельефе

Ландшафты	Позиция в рельефе	Площадь почв	
		тыс. га	% от площади РК
1	2	3	4
Тундровые	Автоморфные	2005,4	4,81
	Транзитные	683,4	1,64
	Аккумулятивные	976,2	2,34
Таежные	Автоморфные	13095,9	31,42
	Транзитные	16310,5	39,14
	Аккумулятивные	3327,2	7,98

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
Горные	Автоморфные	2677,4	6,42
	Транзитные	160,4	0,38
	Аккумулятивные	17,1	0,04
	Гольцы	200,7	0,48
Долинные	– *	1849,6	4,44
Водные объекты		373,8	0,90
Итого:		41677,4	100

Примечание: * – без разделения на группы с учетом занимаемых позиций в рельефе местности.

Среди таежных автоморфных почв ведущие позиции по площади распространения занимают почвы отдела альфегумусовые почвы – различные подтипы подзолов, включая подзолы глеевые. На их долю приходится до 14,8% от площади суши РК (рис.). Подзолы формируются во всех биоклиматических подзонах тайги на песчаных отложениях различного генезиса (древнеаллювиальные пески, флювиогляциальные отложения), в том числе на двучленных отложениях – песках, подстилаемых супесями и суглинками. Они развиты преимущественно под пологом сосновых или смешанных елово-сосновых лесов. Второе место занимают глееподзолистые почвы (подтип подзолистых почв в отделе текстурно-дифференцированных почв) и светлосветлые иллювиально-железистые (отдел криометаморфических почв). На их долю приходится порядка 11,9% от площади суши республики, они приурочены к подзонам северной, крайнесеверной тайги и лесотундры, развиты под пологом еловых лесов. Глееподзолистые почвы формируются, как правило, на средних и тяжелых суглинках, светлосветлые иллювиально-железистые – на легко- и среднесуглинистых почвообразующих породах [12]. Различные подтипы подзолистых и дерново-подзолистых почв из отдела текстурно-дифференцированных почв занимают соответственно третье (4,9%) и четвертое (0,3%) место. Как и глееподзолистые почвы, они развиты под пологом еловых лесов, но приурочены к подзонам средней и южной тайги соответственно.

На водоразделах в таежной зоне РК, благодаря избыточному увлажнению (коэффициент увлажнения по Н. А. Иванову 1,3–1,9), складываются достаточно благоприятные условия для развития полугидроморфных и гидроморфных почв, занимающих соответственно транзитные и аккумулятивные позиции рельефа в ландшафтах. Они формируются как на почвообразующих породах суглинистого, а также песчаного и супесчаного гранулометрического состава. На долю торфяно-подзолисто-глеевых почв, приуроченных к суглинистым почвообразующим породам, приходится соответственно 20,4%, торфяно-подзолов глеевых, развитых на отложениях легкого гранулометрического состава, в том числе на двучленных отложениях (песках и супесях, подстилаемых супесями и суглинками) – 19,1%. Болотные почвы занимают около 8% от площади суши республики.

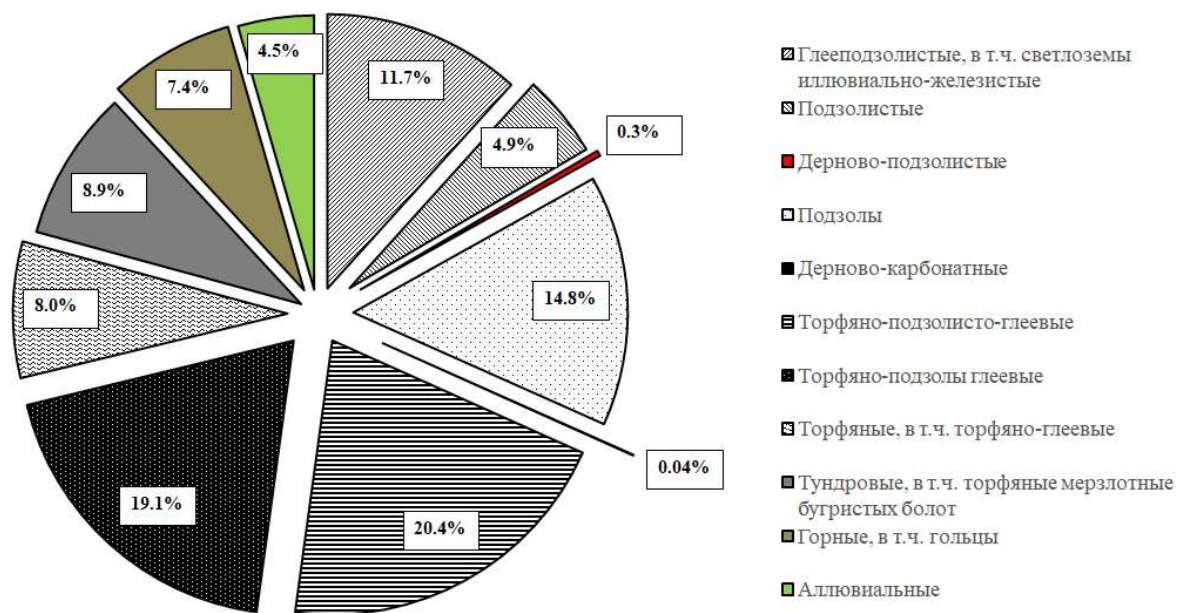


Рис. Почвенный состав земельных ресурсов Республики Коми, % от площади суши Республики Коми

На почвенных картах и в большинстве публикаций, особенно датированных второй половиной XX века, классификационное разнообразие почв дано на базе «Классификации и диагностики почв СССР» [13] с учетом региональных подходов [5]. Разработка и внедрение в практику почвенных исследований современной классификации почв России [14, 15] существенно расширили представление о разнообразии почв РК, особенно в зоне тундры и на территории горных ландшафтов Урала – регионов, для которых номенклатура и классификация почв в рамках «Классификации и диагностики почв СССР» [13] не была разработана.

В настоящее время назрела необходимость корректировки почвенных карт, поскольку использование принципов современной классификации и диагностики почв России [14, 15] позволило выявить достаточно широкое распространение в лесотундре, подзонах крайнесеверной и северной тайги (в первую очередь, в северо-восточной части республики) светлосемов иллювиально-железистых. В отличие от глееподзолистых почв, ареалы которых выделены в этой части республики на почвенных картах, формирование светлосемов иллювиально-железистых приурочено к более легким пылевато-суглинистым почвообразующим породам. По своим физико-химическим свойствам они близки к глееподзолистым почвам, но существенно отличаются от последних по морфологическому строению срединных горизонтов профиля, распределению илистой фракции и реологическим свойствам [16].

Требуется уточнение классификационного положения почв, формирующихся в сочетании со светлосемами иллювиально-железистыми и занимающих пониженные элементы рельефа, где наблюдается развитие поверхностного и/или профильного оглеения.

Определенные сложности отмечены в диагностике и классификационном положении дерново-подзолистых почв южной тайги РК. Эти почвы традиционно выделяют на почвенных картах, однако диагностический гумусоаккумулятивный горизонт, характерный для дерново-подзолистых почв, в почвах юга республики носит неярко выраженный характер и имеет незначительную мощность. Требуется уточнение диагностики и классификационного положения почв, формирующихся в антропогенно преобразованных (техногенных, агрогенных, пирогенно нарушенных) ландшафтах. Характеристика строения и свойств почв таких ландшафтов, определение их ареалов необходимы для расчета баланса и потоков углерода в наземных экосистемах на региональном уровне.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6) и темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (рег. № 122040600023-8).

Библиографический список

1. Лаптева Е. М., Безносиков В. А., Шамрикова Е. В. Почвы и почвенные ресурсы Республики Коми: этапы исследований, итоги и перспективы // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. № 3 (27). С. 2334.
2. Забоева И. В. Почвы. Почвенный покров // Состояние изученности природных ресурсов Республики Коми. Сыктывкар, 1997. С. 7–15.
3. Почвенная карта Коми АССР / сост. О. А. Полынцева. под ред. Е. Н. Ивановой. Сыктывкар : Коми филиал АН СССР, 1954.
4. Атлас Коми АССР. М. : ГУГК СССР, 1964. 112 с.
5. Атлас почв Республики Коми / под ред. Г. В. Добровольского, А. И. Таскаева, И. В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
6. Атлас Республики Коми. М. : Феория, 2011. 448 с.
7. Забоева И. В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар : Коми кн. изд-во, 1975. 344 с.
8. Почвы и почвенный покров Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал) / отв. ред. С. В. Дегтева, Е. М. Лаптева. Сыктывкар : ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2013. 328 с.
9. Дымов А. А., Жангуров Е. В., Старцев В. В. Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение. 2013. № 5. С. 507–516.
10. Дымов А. А., Жангуров Е. В. Разнообразие и генетические особенности почв Приполярного Урала // Пермский аграрный вестник. 2014. № 3 (7). С. 45–52.
11. Лаптева Е. М., Денева С. В., Дёгтева С. В. Пойменные почвы речных долин как объект особой охраны в системе ООПТ Республики Коми // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № 8. С. 46–64.
12. Тонконогов В. Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М. : Почвенный ин-т имени В. В. Докучаева, 2010. 304 с.
13. Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 224 с.

14. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедев, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 42 с.

15. Полевой определитель почв России. М., 2008. 82 с.

16. Холопов Ю. В., Хайдапова Д. Д., Лаптева Е. М. Физико-механические свойства автоморфных таежных почв Республики Коми (по данным реологических исследований) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 42. С. 24–53.

К ВОПРОСУ О РАЗНООБРАЗИИ ПОЧВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КОЙГОРОДСКИЙ»

*Ю. В. Холопов¹, О. В. Шахтарова¹, А. А. Рудь¹, С. В. Денева¹,
Е. А. Доронин^{1,2}, Н. В. Шалагина³, Е. М. Лаптева¹*

¹ *Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, vegalin@mail.ru,*

² *Сыктывкарский государственный университет
имени Питирима Сорокина,*

³ *Национальный парк «Югыд ва»*

Приведены данные о почвах национального парка «Койгородский». На примере четырех ключевых участков рассмотрена специфика распределения почв в ландшафтах резервата. Отмечена специфическая особенность автоморфных почв национального парка, занимающего экотонную полосу «средняя тайга – южная тайга», показано, что в автоморфных позициях под пологом еловых лесов формируются преимущественно подзолистые грубогумусовые почвы.

Ключевые слова: ООПТ, экотон, почвы, разнообразие почв.

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) играют важную роль в сохранении для будущих поколений не только биологического разнообразия наземных и водных экосистем, но и природных ландшафтов в целом – как уникальных (редких), так и типичных для данного региона [1]. В связи с тем, что на территории ООПТ как правило исследованию почв уделялось крайне незначительное внимание, при их инвентаризации было показано, что система ООПТ на территории РФ, с точки зрения сохранения многообразия почв, крайне нерепрезентативна [2]. Это требует, с одной стороны, определенной коррекции существующей в России системы заповедников и национальных парков [3], а с другой стороны, необходимо при создании новых ООПТ уделять внимание не только исследованию живой составляющей биогеоценозов в границах резерватов, но и их почвенному покрову [4]. В связи с этим, при создании нового национального парка на территории Республики Коми (НП «Койгородский») одним из направлений исследований, организованных на его территории, стало изучение почв и почвенного покрова.

НП «Койгородский» находится на юге Республики Коми, территориально он расположен в двух муниципальных районах республики – Койго-

родском и Прилузском. На востоке НП «Койгородский» граничит с участком «Тулашор» государственного природного заповедника «Нургуш». В биоклиматическом отношении НП «Койгородский» приурочен к переходной полосе от средней к южной тайге, что позволяет рассматривать этот резерват в качестве удобного объекта для изучения специфики формирования почв в биоклиматическом экотоне «средняя тайга – южная тайга».

Исследования проводили в 2021 и 2023 гг. на четырех ключевых участках – в окрестностях кордонов «Сенюк», «Федоровка», «Матвей-шор» и «Грань» НП «Койгородский». На этих участках выполнено изучение почв, формирующихся на водоразделах и в долинах р. Суран и ее правобережного притока – р. Мытец. Для характеристики почв в межкronовых пространствах лесных сообществ закладывали почвенные разрезы, описывали морфологическое строение почв, оценивали цветовую окраску генетических горизонтов с использованием цветowych таблиц «Munsell Soil Color Charts», определяли плотность почв и проводили отбор проб почв из генетических горизонтов для физико-химических исследований. Индексацию генетических горизонтов и название почв давали в соответствии с принципами современной классификации почв России [5, 6].

Обобщение полученного материала свидетельствует о том, что разнообразие почв НП «Койгородский» и характер их распространения в границах НП полностью определяются биоклиматическими условиями района исследования, спецификой распространения почвообразующих пород (флювиогляциальных и аллювиальных отложений, моренных и покровных суглинков) на территории резервата, особенностями рельефа местности (характером речной сети, дренированностью ландшафтов), антропогенным воздействием (наличием послерубочных и нарушенных территорий). На данный момент на территории НП выявлено 9 типов и 16 подтипов почв, относящихся к 4 отделам и 3 стволам.

Под пологом еловых зеленомошных лесов, занимающих хорошо дренированные ландшафты с суглинистыми почвообразующими породами в северной части резервата, представлены подзолистые типичные почвы [7]. Это характерные представители почвенного покрова среднетаежных темнохвойных лесов. Морфологическое строение их профиля определяется развитием элювиального (подзолистого) процесса. Под его влиянием минеральная часть профиля таких почв дифференцирована на элювиальный горизонт EL, который образуется непосредственно под органомным горизонтом, переходный BEL и текстурно-дифференцированный горизонт BT, характерный для срединной части профиля. Органогенный горизонт подзолистой типичной почвы – это подстильно-торфяной горизонт O, представленный в основном остатками мхов с включением хвои, веток и шишек ели.

В лесных биотопах с травяным напочвенным покровом (еловых и осиновых лесах травяного типа) нами описаны дерново-подзолистые почвы – типичные представители почвенного покрова южной тайги. Такие почвы встречаются преимущественно в южной части НП «Койгородский» на хорошо

дренированных участках водоразделов, но их доля в структуре почвенного покрова НП крайне незначительна. Для дерново-подзолистых почв характерно формирование в верхней части профиля грубогумусовой подстилки О_{ао} и маломощного (до 5 см) слабо выраженного гумусоаккумулятивного горизонта А_У, богатого гумусовыми веществами и биофильными элементами. Срединная часть профиля дерново-подзолистых почв идентична подзолистым типичным почвам.

В основном на территории НП «Койгородский» в условиях хорошего дренажа на водоразделах развиты подзолистые грубогумусовые почвы. Такие почвы формируются под пологом еловых и осиновых лесов с папоротничково-хвощево-кисличным и папоротничково-кисличным напочвенным покровом, их можно рассматривать в качестве переходного типа от подзолистых типичных почв к дерново-подзолистым. Подзолистые грубогумусовые почвы имеют строение минеральной части практически аналогичное почвам, развитым под пологом еловых зеленомошных лесов. Однако, в отличие от последних, их органогенный горизонт представлен грубогумусовой лесной подстилкой из остатков трав и опада мелколиственных пород с включением хвои и шишек хвойных деревьев.

На участках водоразделов с застойным увлажнением под пологом темнохвойных лесов господствуют различные подтипы торфяно-подзолисто-глеевых почв. Для таких почв характерны: (а) развитие мощного органогенного горизонта (от 10 до 30 см), представленного слаборазложившимися остатками долгомошных и сфагновых мхов; (б) наличие четко выраженных признаков оглеения в виде сизовато-серых и ржаво-охристых пятен в минеральной части профиля и различных по форме и составу железо-марганцевых конкреционных новообразований.

На территории болотных массивов обычны болотные торфяные и торфяно-глеевые почвы, мощность торфяной толщи в которых варьирует от 40 до 200 см и более.

В долинных ландшафтах формируются разнообразные типы и подтипы аллювиальных гумусовых, серогумусовых и торфяных почв. Для профиля аллювиальных гумусовых и серогумусовых почв характерно наличие четко выраженного гумусоаккумулятивного горизонта А_У мощностью до 10–25 см, отличающегося зернистой структурой и высоким содержанием гумуса и биофильных элементов, необходимых для роста и развития растений. При выходе надпойменных террас из режима ежегодного затопления в почвах начинает развиваться подзолистый процесс с формированием аллювиальных гумусовых элювирированных почв. Наличие на пойменных террасах рек (например, р. Мытец) специфических аллювиальных почв с погребенными торфяными горизонтами свидетельствует о сложной гидрологической истории развития их долин.

Несмотря на то, что территория НП «Койгородский» относится к заповедной зоне, в ее границах встречаются участки нарушенных природных экосистем. В пределах исследованных ключевых участков основной причиной

нарушения почвенно-растительного покрова являлись рубки лесов, особенно в районе кордона «Грань». Вырубка лесов приводит к существенным нарушениям не только растительного покрова за счет изъятия стволовой древесины и повреждения напочвенного покрова, но и нарушению почв – механическому повреждению верхних горизонтов, изменению гидрологического режима в первые годы после рубки, что способствует временному переувлажнению почв и усилению процессов оглеения. На таких антропогенно нарушенных участках в настоящее время формируются различные варианты подзолистых и дерново-подзолистых почв, в профиле которых присутствуют признаки механической турбации верхней части профиля и его временного переувлажнения после сведения древостоя.

Таким образом, в результате обследования почвенного покрова четырех ключевых участков, выделенных на территории НП «Койгородский», показано, что его ландшафты характеризуются значительным разнообразием почв как ненарушенных, природных, сохранивших присущие целинным почвам черты морфологического строения и физико-химических свойств, так и антропогенно измененных. Специфической особенностью почвенного покрова резервата является преимущественное развитие в автоморфных условиях на суглинистых почвообразующих породах подзолистых грубогумусовых почв.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Изучение почвенно-растительного покрова национального парка «Койгородский» (№ 123041200063-4).

Библиографический список

1. Особо охраняемые природные территории России: история и современное состояние / Н. Г. Рыбальский, Е. В. Муравьева, Д. А. Борискин, В. Р. Хрисанов, С. А. Круглова // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2017. № 2(150). С. 45–85.
2. Чернова О. В. Оценка репрезентативности сети особо охраняемых природных территорий России с точки зрения сохранения разнообразия естественных почв // Альманах Пространство и Время. 2016. Т. 11. Вып. 1. Статический IP-адрес: 2227-9490e-aprovrg_east11-1.2016.42
3. Присяжная А. А., Чернова О. В., Снакин В. В. Почвенное разнообразие заповедной системы России // Использование и охрана природных ресурсов России. 2017. № 2 (150). С. 13–1.
4. Почвенный покров охраняемых территорий: состояние, степень изученности, организация исследований / Г. В. Добровольский, О. В. Чернова, Е. П. Быкова, Н. П. Матекина // Почвоведение. 2003. № 6. С. 645–654.
5. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедев, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
6. Полевой определитель почв России. М., 2008. 82 с.
7. Дымов А. А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М. : ГЕОС, 2020. 336 с.

СПЕЦИФИКА ПОЧВ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЗАКАЗНИКА «ЛЯЛЬСКИЙ»

*Е. А. Скребенков^{1,2}, С. В. Денева¹, Ю. В. Холопов¹,
И. А. Лиханова¹, Е. М. Лаптева¹*

¹ *Институт биологии Коми научного центра*

Уральского отделения Российской академии наук, lapteva@ib.komisc.ru,

² *Сыктывкарский государственный университет имени Путьирима Соркина*

В материалах приводятся результаты исследования почвенного покрова ООПТ регионального значения – лесного заказника «Ляльский», на территории которого в настоящее время организован тестовый полигон для мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов. Дана характеристика основных типов и подтипов почв, распространенных на территории тестового полигона.

Ключевые слова: ООПТ, тестовый полигон, почвы, почвообразующие породы, двучленные отложения.

Государственный природный заказник республиканского значения «Ляльский» организован на территории Республики Коми (МО МР «Княжпогостский») в 1989 г. с целью сохранения типичной растительности и водотоков средней тайги [1]. 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» в границах заказника «Ляльский» создан тестовый полигон интенсивного типа для оценки динамики соединений углерода в лесных сообществах средней тайги.

Учитывая, что почвы заказника «Ляльский» охарактеризованы на примере единичных разрезов [2, 3], в 2023 г. выполнены детальные исследования почв, представленных на тестовом полигоне «Ляльский». С этой целью в пределах границ полигона общей площадью 4 км² выделены 29 пробных площадей (ПП) с разными типами растительных сообществ – еловые, сосновые и лиственные насаждения разного уровня увлажнения. Размеры ПП – 50 × 50 м. На каждой ПП заложены почвенные разрезы и полуразрезы по единым методикам, рекомендованным для проведения исследований на полигонах интенсивного типа [4]. Выполнено морфологическое описание почв, определена плотность генетических горизонтов в ненарушенном сложении, проведен отбор проб почв из генетических горизонтов для выполнения физико-химических и микробиологических исследований.

Предварительная обработка полученного полевого материала свидетельствует о достаточно высоком разнообразии почв в пределах тестового

полигона. Это обусловлено, с одной стороны, неоднородностью рельефа местности (склоновые и равнинная поверхности водораздела; расчлененность территории долинами лесных рек и ручьев – левобережных притоков р. Вынь), с другой, распространением в границах полигона неоднородных по гранулометрическому составу почвообразующих пород. На водораздельных пространствах имеются выходы суглинистых и супесчаных отложений основной морены с включениями валунного материала, песчаных отложений с включением гравийного материала, приуроченных к террасам внутриледниковых озер, в долинных ландшафтах распространены аллювиальные отложения различного гранулометрического состава. Кроме того, на формирование почвенного покрова полигона определенное влияние оказали особенности техно- и агрогенного воздействия, включая подсечное земледелие, которое широко было распространено на данной территории в XIX веке и на рубеже XIX-XX веков, а также лесные пожары как природного, так и антропогенного происхождения.

Основную площадь в пределах полигона занимают двучленные отложения (пески, подстилаемые суглинками) с присутствием гравийно-галечникового материала и карбонатов в составе суглинков. В зависимости от условий рельефа, крутизны склонов, характера дренированности территории, особенностей растительного покрова, мощность облегченной толщи (песок) в профиле почв варьирует от нулевых значений до 50–80 см, что обуславливает формирование в пределах границ полигона различных типов и подтипов подзолистых текстурно-дифференцированных почв, подзолов и торфяно-подзолов.

В хорошо дренированных позициях рельефа в зависимости от характера почвообразующей породы распространены подзолы иллювиально-железистые, в том числе литобарьерные, и подзолистые типичные (текстурно-дифференцированные) почвы. При наличии условий для застоя влаги (выравненные поверхности водоразделов) под пологом сосновых лесов сформированы подзолы иллювиально-железистые глееватые, торфяно-подзолы глеевые иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые, в ельниках долгомошного и сфагнового типов подзолистые глееватые и торфяно-подзолисто-глеевые почвы. В гидроморфных условиях представлены сочетания различных типов и подтипов торфяных почв и торфяно-глееземов. На участках, предположительно находившихся под влиянием подсечного земледелия и/или естественного лесовозобновления после рубок и вывода земель из сельскохозяйственного использования, выделены подзолистые грубогумусовые и/или дерново-подзолистые грубогумусовые почвы.

Необходимо отметить, что присутствие крупнозема и карбонатов, выявленное в составе подстилающей толщи суглинков, будет оказывать соответствующее влияние на содержание и запасы углерода в почвах тестового полигона. Это необходимо учитывать при расчетах запасов углерода и оценке динамики соединений углерода во времени при проведении долгосрочных мониторинговых наблюдений на территории тестового полигона «Ляльский».

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. Постановление Правительства Республики Коми от 18 марта 2019 г. № 121 «Об особо охраняемых природных территориях республиканского значения, расположенных на территории муниципального образования муниципального района «Княжпогостский», и внесении изменений в некоторые нормативные правовые акты по вопросам особо охраняемых природных территорий республиканского значения» (с изменениями и дополнениями).
2. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / под ред. К. С. Бобковой, Э. П. Галенко. СПб., 2001. 278 с.
3. Бобкова К. С., Машика А. В., Смагин А. В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах. СПб., 2014. 270 с.
4. Ритм углерода [Электронный ресурс]. – URL: <https://ritm-c.ru/results/methods> (дата обращения: 25.10.23).

О ВЫБОРЕ ФОНОВЫХ ПОЧВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Е. В. Дабак

*Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, dabakh@mail.ru*

Обсуждаются способы оценки состояния почв техногенных территорий при организации мониторинга. При перепрофилировании экологически опасных объектов в качестве фоновых рекомендуется использовать актуальные данные о состоянии почв на момент начала работы нового объекта.

Ключевые слова: техногенные территории, мониторинг почв, фоновые участки.

Исследования, касающиеся оценки антропогенного воздействия на почвы населенных мест, сельхозугодий, промышленных зон и др., требуют сравнения с ненарушенными аналогами – почвами фоновых территорий. Так, в работе [1] отмечено, что «фоновые участки должны находиться вне зоны действия источника загрязнения, на расстоянии не менее 10–15 км». При этом «все участки должны обладать сходными характеристиками состава и свойств почв, природных вод и растительного покрова».

Сравнение с показателями свойств почв на фоновых территориях необходимо при проведении инженерно-экологических изысканий (ИЭИ) для

строительства. В частности, для оценки загрязнения почв определяют суммарный показатель химического загрязнения, рассчитываемый по Kc_i – коэффициенту концентрации i -го загрязняющего компонента, равному кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением [2]. Для получения данных о региональных фоновых уровнях загрязнения почв рекомендуется отбирать пробы «на достаточном удалении от поселений (с наветренной стороны), не менее чем в 500 м от автодорог, на землях (лугах, пустошах), где не осуществлялось применение пестицидов и гербицидов». Допускается использовать данные о региональном фоне из справочных материалов или ориентировочные значения, указанные в [2].

Опыт проведения мониторинга экологически опасных объектов Кировской области: химических предприятий г. Кирово-Чепецка и объекта хранения и уничтожения химического оружия (ОХУХО) «Марадыковский» в Кировской области позволил обозначить ряд проблем в выборе фоновых почв, прежде всего связанных с разнообразием почв в почвенном покрове, обусловленном географическим положением объектов. Строительство таких предприятий вблизи крупного источника водоснабжения и водоотведения – р. Вятки предполагает вовлечение в техногенную зону нескольких сопряженных ландшафтов. Например, ОХУХО «Марадыковский» размещен в пределах двух типов природных ландшафтов. Первый тип – пологоволнистая аккумулятивная водно-ледниковая равнина, второй тип ландшафта – долина р. Вятки с гривистыми и выровненными поймами. Соответственно, в почвенном покрове вокруг объекта выделены подзолистые, дерново-подзолистые, дерново-карбонатные, дерновые глеевые, болотные, аллювиальные почвы. Сильно расчлененный рельеф и многообразие почвообразующих пород обусловили формирование множества видов и разновидностей перечисленных типов почв. Найти соответствующие каждой разности фоновые почвы с аналогичной растительностью весьма затруднительно, поэтому при проведении ИЭИ для оценки состояния почв и степени их загрязнения использовали ПДК, ОДК, региональные фоновые показатели. Отметим, что работы по определению региональных фоновых концентраций элементов в почвах Кировской области проводились в начале 90-х годов. Эколого-геохимическая карта почв Кировской области [3] (результат этих работ) была выпущена в 1996 г. ограниченным тиражом и в настоящее время является раритетом. В ней не учитывается гранулометрический состав почв, нет данных по многим химическим элементам, тем не менее, она востребована как единственный источник сведений о региональных фоновых концентрациях элементов. В таблице приведены содержания некоторых элементов в нормативных документах [2, 4] и в [3].

**Предельно-допустимые и фоновые концентрации элементов
в песчаных (супесчаных) почвах**

Элемент	Концентрации, мг/кг			
	ПДК [4]	ОДК [4]	региональный фон [3]	ориентировочные значения для дерново-подзолистых почв средней полосы (песчаные, супесчаные) [2]
Cu	–	33	28	8
Zn	–	55	58	28
Pb	32	32	12	6
Cd	–	0,5	–	0,05
Ni	–	20	33	6
As	2	2	–	1,5
Hg	2,1	–	–	0,05
Co	–	–	–	3
Mn	1500	–	–	–
V	150	–	15	–
Sb	4,5	–	–	–
S	160	–	–	–
Cr	–	–	84	–
Mo	–	–	1,4	–
Sr	–	–	118	–
Sn	–	–	2,5	–

Примечание: прочерк – данные отсутствуют.

Как видно из таблицы, некоторые значения существенно отличаются, фоновое содержание Zn в почвах Кировской области соответствует ОДК для песчаных почв, Ni – значительно выше ОДК.

По нашему мнению, наиболее удачным способом оценки воздействия объекта на почвы является сравнение концентраций загрязняющих веществ до начала его функционирования и в процессе мониторинга уже действующего предприятия. Подобным образом, т. е. по результатам первого тура обследования («мониторинга»), оценивают фоновое состояние территории в ряде стран, где не проводятся регулярные наблюдения в заповедниках, а об антропогенном воздействии на почвы судят по аккумулятивной тенденции в содержании загрязняющих веществ [5]. В Кировской области такой подход предлагается для мониторинга производственно-технического комплекса (ПТК) по переработке отходов, создаваемого на базе бывшего объекта хранения и уничтожения химического оружия (ОХУХО) «Марадыковский» в пос. Мирный Оричевского района. В принципе, состояние почв до начала работы ПТК оценивалось при проведении инженерно-экологических изысканий (ИЭИ) и сведения, которые представлены в них, должны стать основой для проведения мониторинга создаваемого объекта. Необходимость фонового обследования непосредственно перед началом работы объекта обусловлена длительностью периода перепрофилирования (ИЭИ выполнены в 2019 году) и, в связи с этим, неактуальностью некоторых данных по состоянию почв. Воз-

возможность использования результатов ИЭИ по почвам, согласно [6] СП 47-13330-2016, ограничивается 5 годами на незастроенных территориях и 2 – на освоенных.

Таким образом, при перепрофилировании экологически опасных объектов рекомендуется в качестве фоновых показателей состояния почв использовать данные обследования почв на участках мониторинга до начала функционирования нового объекта или актуальные данные инженерно-экологических изысканий.

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. Гришина Л. А., Копчик Г. Н., Моргун Л. В. Организация и проведение почвенных исследований для экологического мониторинга. М. : Изд-во МГУ, 1991. 82 с.
2. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства. Дата актуализации: 01.01.2021.
3. Эколого-геохимическая карта почв Кировской области. СПб. : ВСЕГЕИ, 1996.
- 4 СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
5. Медведев В. В., Лактионова Т. Н. Анализ опыта европейских стран в проведении мониторинга почвенного покрова (обзор) // Почвоведение. 2012. № 1. С. 106–114.
6. СП 47-13330-2016. Инженерные изыскания для строительства. 2016.

ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ ПОЧВ РАЗНЫХ КАТЕГОРИЙ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВОРОНЕЖА

С. С. Астанин¹, К. Е. Стекольников², И. Д. Свистова¹

*¹ Воронежский государственный педагогический университет,
i.svistova@mail.ru, microbyrafl@gmail.com,*

*² Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I*

Изучена возможность применения традиционного биоиндикационного показателя (численность азотобактера) для оценки состояния почвы разных типов рекреаций: пригородных лесопарков, расположенных в центре города скверов без охранного статуса и ООПТ регионального значения. В техногенно-преобразованных почвах городских рекреаций Воронежа численность азотобактера не снижается, одной из причин этого является подщелачивание почвы при проведении мероприятий по уходу за растениями.

Ключевые слова: городские почвы, рекреации, микробиоиндикация, азотобактер, кислотность почвы.

Урбопочвы выделяют в отдельную категорию в связи с нарушением генетических горизонтов, техногенным загрязнением, нарушением физико-химических свойств, экранированием, незамкнутостью круговоротов биогенных элементов [1, 2]. Биоиндикация городских почв привлекает все большее внимание в связи с синергическим эффектом живых организмов на разные виды городской нагрузки [3]. Чувствительность микроорганизмов к воздействию внешних факторов на несколько порядков превышает макроорганизмы (из-за их малых размеров и резкого роста отношения площади поверхности к объему), что делает почвенное микробное сообщество удобным параметром для выявления ранних негативных тенденций при антропогенном воздействии [4].

Ранее нами были изучены нарушения микробного сообщества урбанизированной территории г. Воронежа в разных городских зонах (транспортной, промышленной, жилой), выявлены информативные параметры и оптимальные сроки проведения микробиомониторинга [5]. Наименее нарушено микробное сообщество почвы рекреационных зон города, его состояние соответствует адаптивной зоне «гомеостаза», рекреации являются резервом биоразнообразия микроорганизмов [6].

Представляло интерес провести более подробную микробиоиндикацию почв городских рекреаций: подверженных мероприятиям по уходу за растениями и имеющих статус «памятников природы» (включенных в кадастр ООПТ регионального значения), находящихся в пригороде и в центре города, окруженных оживленными транспортными развязками.

Традиционным параметром микробиоиндикации почвы служит содержание азотобактера – несимбиотической бактерии, включенной в процесс азотфиксации и чувствительной к загрязнению почвы. Нами было установлено ранее, что численность азотобактера хорошо коррелирует с актуальной активностью азотфиксации почвы [7, 8], в то время как анаэробные азотфиксаторы для этой цели не подходят [9, 10].

Целью работы было изучение возможности использования содержания азотобактера в качестве информативного параметра микробиоиндикации почв разных категорий городских рекреаций.

Варианты опыта: лесопарковые пригородные зоны (контроль), рекреации Правобережной части Воронежа разных категорий («памятники природы» и не имеющие природоохранного статуса). В контроле почва серая лесная под снытьевой дубравой, в черте города – техногенно-преобразованная почва. Пробы почвы отбирали из слоя 0–20 см в середине вегетационного периода. Содержание азотобактера определяли методом обрастания комочков почвы на среде Эшби. Кислотность почвы определяли традиционными агрохимическими методами. Гидролитическую кислотность определяли по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-2021).

В почве лесопарковой пригородной зоны Правобережной части города содержание азотобактера было высоким, что соответствует данным других

авторов по Центрально-Черноземной зоне (табл.), коэффициент микромозаичности почвы составлял 1,1–1,3.

Таблица

Содержание азотобактера и кислотность почвы разных категорий рекреаций Правобережной части г. Воронежа (min – max значение)

Точки отбора проб	Содержание азотобактера, %	pH водн.	pH сол.	Гидролитическая кислотность, смоль/кг
Лесопарковая пригородная зона				
Санаторий имени Горького	75–85	6,19–6,47	5,52–5,80	1,67–1,74
Центральный парк (лесная часть)	69–93	5,51–6,19	4,60–5,52	0,30–1,67
Лесопарк район ВГАУ	73–76	6,02–6,23	5,92–5,96	1,63–1,65
ООПТ регионального значения				
Дендропарк ВГАУ имени К. Д. Глинки	79–97	5,81–6,80	4,71–6,80	0,44–5,85
Центральный парк (окультуренная часть)	65–100	6,76–7,63	6,65–7,29	0,28–0,52
Агробиостанция ВГПУ	92–100	7,05–7,59	6,42–7,27	0,32–0,80
Кольцовский сквер	90–97	7,26–7,41	6,33–6,96	0,42–0,66
Не имеют природоохранного статуса				
Сквер у Дома офицеров	100	7,39–7,60	7,09–7,22	0,25–0,29
Первомайский сад	99–100	7,19–7,52	6,85–7,07	0,33–0,46
Сквер на ул. Дзержинского	100	7,18–7,33	6,77–6,94	0,41–0,80
Сквер «Надежда»	87–91	7,11–7,47	6,52–7,12	0,36–0,72
Петровский сквер	95–100	6,70–7,58	5,98–7,01	0,43–1,34

В отличие от транспортных и селитебных зон города, где содержание азотобактера в почве летом снижалось пропорционально накоплению поллютантов [7, 8], в городских рекреациях, в том числе, расположенных в самом центре города и окруженных оживленными автомагистралями, содержание азотобактера в почве не снижалось, а даже возрастало, при этом результаты оказались более выравненными (табл.).

Для выяснения причин данного явления мы оценили уровень кислотности почвы, к которой очень чувствителен азотобактер. В пригородных лесопарковых зонах почва имела слабокислую реакцию, что связано с процессами разложения лесной подстилки и характерно для серой лесной почвы.

Обнаружено выраженное подщелачивание почвы городских рекреаций: как по результатам определения актуальной (pH_{водн.} возрастал на 0,7–2,1 ед.), так и обменной кислотности (pH_{сол.} возрастал на 0,5–2,3 ед.), снижалась также гидролитическая кислотность почвы (табл.). Оптимум кислотности среды для азотобактера лежит в области нейтральных значений pH, что, очевидно, и ведет к росту его численности в почве.

Заметное нарушение кислотно-основных свойств почвы практически не зависело от их природоохранного статуса, но сильнее проявлялось в рекреациях, расположенных в центре города. По нашему мнению, именно в цен-

тральных парках и скверах проводятся активные мероприятия по уходу за растениями: подсыпка грунтов (реплантоземов) черноземом с полей, обустройство газонов, подкормка и отсыпка древесных растений, разбивка клумб с однолетниками. При этом активные хозяйственные мероприятия проводятся и на территории «памятников природы», не соблюдается их статус. Наименьшие нарушения обнаружены в почве дендропарка ВГАУ имени К. Д. Глинки, расположенного далеко от центра и практически не охваченного хозяйственной деятельностью городских служб.

Таким образом, такой распространенный показатель, как численность азотобактера, не может использоваться для микробиоиндикации уровня городской нагрузки и загрязнения почвы в рекреационных зонах крупного города, так как эффект хозяйственных мероприятий по уходу за растениями перекрывает действие других факторов.

Библиографический список

1. Строганова М. Н., Мягкова А. Д., Прокофьева Т. В. Городские почвы, генезис, классификации, функции // Почва, город, экология / под общ. ред. Г. В. Добровольского. М. : Фонд За экономическую грамотность, 1997. С. 15–88.
2. Norra S., Stuben D. Urban soil // J. Soils Sediments. 2003. Vol. 3. P. 230–233.
3. Мелехова О. П., Егорова Е. И., Евсеева Т. И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование : учеб. пособие для вузов / под ред. О. П. Мелеховой, Е. И. Егоровой. М. : Академия, 2007. 288 с.
- 4 Биологический мониторинг природно-техногенных систем / под ред. Т. Я. Ашихминой, Н. М. Алалыкиной. Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2011. 388 с.
5. Свистова И. Д. Биоэкологические особенности микробного сообщества урбаноземов Воронежа // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы : материалы междунар. науч.-практ. конф. / под ред. С. А. Куролапа, Л. М. Акимова, В. А. Дмитриевой. Т. 2. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2019. С. 167–171.
6. Назаренко Н. Н., Свистова И. Д. Микробиологическая индикация почвы рекреационных зон г. Воронежа // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XV Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. : в 2 томах. Т. 1. Киров : ВятГУ. 2020. С. 135–140.
7. Назаренко Н. Н., Корецкая И. И., Свистова И. Д. Влияние урбанизации на азотфиксирующую активность почв различных городских ландшафтов // Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов : межрегиональный сборник науч. работ. Т. 22. Воронеж : ВГУ. 2020. С. 126–130.
8. Свистова И. Д., Истомина Е. И. Азотфиксирующая активность урбопочв на примере различных категорий урбаноземов г. Воронежа // Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека : труды XI Междунар. биогеохимической школы, посвященной 120-летию со дня рождения В. В. Ковальского : в 2 томах. Т. 2. Тула : ТГУ, 2019. С. 183–185.
9. Свистова И. Д., Корецкая И. И., Истомина Е. И. Влияние городской нагрузки на напряженность процесса азотфиксации на примере почв г. Воронежа // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. : в 2 томах. Т. 2. Киров : ВятГУ. 2019. С. 34–37.
10. Астанин С. С., Свистова И. Д. Биоиндикация в оценке активности азотфиксации разных категорий городских почв (на примере Воронежа) // Интеграция и устойчивость зеленой инфраструктуры : материалы Междунар. молодежной науч. школы-конфер. Воронеж : ВГТУ, 2023. С. 199–203. doi: 10.58168/ISGreenI2023_199-203

ДИНАМИКА СВОЙСТВ ПОЧВ В ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ С *HERACLEUM SOSNOWSKYI*

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

¹ Институт биологии Коми научного центра

Уральского отделения Российской академии наук, lapteva@ib.komisc.ru,

² Сыктывкарский государственный университет имени П. П. Путаева

Рассмотрены особенности свойств постагрогенных почв средней тайги, формирующихся под влиянием внедрения на залежные земли борщевика Сосновского. Отмечено значительное сезонное варьирование таких показателей как содержание подвижных форм калия и фосфора, нитратного и аммонийного азота, углерода микробной биомассы.

Ключевые слова: постагрогенные экосистемы, борщевик Сосновского, свойства почв, сезонная динамика.

Республика Коми характеризуется крайне неблагоприятными климатическими условиями, большая часть ее территории относится к зоне рискованного земледелия. Однако северная граница земледелия в республике продвигается достаточно высоко. До 1950-х гг. зерновые (ячмень, рожь) сеяли вплоть до Усть-Цильмы (65°22' с. ш.), а многолетние травы можно выращивать вплоть до тундровой зоны [1]. Под пашни в основном использовали автоморфные подзолистые почвы, для которых характерен низкий уровень природного плодородия [2]. Учитывая специфику почв региона, в условиях Севера создание продуктивных агроценозов требует вложения значительных средств: нужны высокие дозы органических удобрений (до 100–200 т/га навоза), минеральных удобрений под планируемый урожай, известковых мелиорантов (для снижения кислотности почв), мелиорации переувлажненных почв Севера [3]. Однако, как показывают результаты проводимых туров агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий, почвы пахотных угодий редко достигали высокого уровня окультуренности. Как правило, большая часть угодий по агрохимическим показателям почв – кислотности, содержанию гумусовых веществ и биофильных элементов (обменного калия) – относилась к категории слабо или среднеокультуренных.

После 90-х годов в условиях перехода к рыночной экономике началось закономерное сокращение сельскохозяйственных угодий, в том числе площади пашни и их повсеместное зарастание травянистой и древесной растительностью. В подзонах южной и средней тайги в постагрогенные экосистемы активно внедряется борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) с последующим формированием на залежах его маловидовых зарослей [4].

Цель данной работы заключалась в оценке свойств постагрогенных почв на этапе их формирования под влиянием инвазии *Heracleum sosnowskyi*.

Объектом исследования послужил залежный участок, расположенный на территории Радиобиологического корпуса ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Почва участка высококультуренная, среднесуглинистая. Участок выведен из режима пахотного угодья в 2003 г., после чего началось его последовательное заселение *H. sosnowskyi* [5]. В настоящее время в пределах рассматриваемого участка распространены малопродуктивные заросли борщевика Сосновского (Опытная площадка ОП-1), на окраине участка сохранена злаково-разнотравная растительность (ОП-2), часть участка занята кустарниково-древесным сообществом с преобладанием осины – *Populus tremula* L. (ОП-3).

На всех трех ОП проведен отбор проб почв из бывшего пахотного горизонта послойно на глубину до 30 см. Пробы отбирали на каждой ОП ежемесячно с июня по декабрь 2022, а также в апреле 2023 г. в 5-кратной повторности методом конверта. Анализировали смешанные образцы, составленные из 5 индивидуальных проб. Определяли рН солевой вытяжки (ГОСТ 26423-85), величину гидролитической кислотности (ГОСТ 26212-91), подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову, содержание обменных оснований (Ca^{2+} , Mg^{2+}), аммонийных и нитратных форм азота – общепринятыми методами [6]. Содержание углерода органических веществ оценивали методом Тюрина со спектрофотометрическим окончанием.

Обобщение полученных данных показало, что максимальное количество гумуса в почве ключевого участка содержится под зарослями *H. sosnowskyi* (площадка ОП-1). Здесь в верхнем 0–10 см слое бывшего пахотного горизонта отмечено $8,47 \pm 0,78\%$ гумуса. Минимальное количество гумусовых веществ зафиксировано в почве осинника (ОП-3) $4,07 \pm 1,17\%$. Почва участка со злаково-разнотравной растительностью (ОП-2) занимает промежуточное положение по содержанию гумуса $6,81 \pm 0,56\%$.

На данном этапе постагрогенного развития почва залежного участка сохраняет слабокислую реакцию среды. рН солевой вытяжки в среднем на всех трех участках находится на уровне 5,0–5,5 ед. рН. Однако под зарослями борщевика постагрогенная почва по этому параметру переходит в категорию близкой к нейтральной.

Почва рассмотренного участка, вне зависимости от типа формирующегося сообщества, характеризуется повышенным содержанием фосфора и калия. Однако в почве под зарослями борщевика их содержание, а также содержание обменного кальция, в 1,7–1,9 раз выше по сравнению с почвами площадок ОП-2 и ОП-3.

Содержание подвижных форм фосфора, калия, а также азота ионов аммония и нитрат-ионов значительно варьируют в постагрогенных почвах в течение вегетационного сезона. Коэффициент варьирования для подвижных форм P_2O_5 и K_2O 26–48%, для NH_4^+ 29–39%, для NO_3^- 64–121%. Повышенное содержание подвижных форм фосфора и калия, а также нитратного азота в почвах луга и под борщевиком приурочено, как правило, к концу вегетационного сезона и зимнему периоду, аммонийного азота – к летним месяцам года, что связано со спецификой и сроками поступления растительного материала

и особенностями жизнедеятельности почвенной биоты. В почве осинника сезонная динамика агрохимических показателей имеет некоторые отличия.

Таким образом, впервые на примере высококультурных пахотных почв рассмотрены особенности изменения их плодородия в процессе постагрогенной трансформации под влиянием разных типов растительности. Показано, что колонизация залежных участков таким видом, как *Heracleum sosnowskyi* позволяет сохранить почвенное плодородие в течение длительного времени после вывода залежного участка из режима сельскохозяйственного производства. На участках зарастания пашни травянистой (злаково-разнотравный луг) и древесной (мелколиственное сообщество) растительностью наблюдается последовательное снижение уровня почвенного плодородия. На это указывает возрастание кислотности почв, снижение в них содержания подвижных форм фосфора и калия, а также обменных форм кальция.

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

Библиографический список

1. Атлас почв Республики Коми / под ред. Г. В. Добровольского, А. И. Таскаева, И. В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
2. Забоева И. В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар : Коми кн. изд-во, 1975. 344 с.
3. Елькина Г. Я. Оптимизация минерального питания растений на подзолистых почвах. Екатеринбург : УрО РАН, 2008. 278 с.
4. Влияние инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на плодородие постагрогенных почв Европейского Северо-Востока / Е. М. Лаптева, И. Г. Захожий, И. В. Далькэ, Ю. А. Смотрина, Э. А. Генрих // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 66–73.
5. Гольке Г. А., Далькэ И. В., Захожий И. Г. Трансформация растительного покрова залежей при вторжении *Heracleum sosnowskyi* Manden. (на примере Республики Коми) // Биологические и географические аспекты экологии человека. Сыктывкар, 2021. С. 45–49.
6. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ЕМКОСТИ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

А. С. Титова

Тульский государственный университет, titovaal2001@gmail.com

Проведены исследования окислительно-восстановительной емкости гуминовых кислот (ГК), выделенных из торфов различного происхождения. ГК были выделены методом щелочной экстракции из черноольхового низинного торфа (ЧНТ), тростникового низинного торфа (ТНТ), сфагнового верхового торфа (СВТ) и сфагнового переходного торфа (СПТ). Благодаря карбоксильным, гидроксильным, карбонильным группам и ароматическим фраг-

ментам ГК вступают в ионные, донорно-акцепторные и гидрофобные взаимодействия. Таким образом в окружающей среде ГК способны связывать различные экотоксиканты, образуя при этом комплексы с металлами и соединения с различными классами органических веществ. Как следствие, они выполняют функцию своеобразных посредников, смягчающих действие загрязнений на живые организмы.

Ключевые слова: гуминовые кислоты, окислительно-восстановительная емкость, редокс-активные группы, медиаторные свойства.

В данной работе было проведено электрохимическое исследование окислительно-восстановительной емкости ГК двумя различными способами: вольтамперометрическим методом и с помощью метода спектроскопии электрохимического импеданса. Электрохимическое поведение различных гуминовых кислот исследовали в ДМСО (диметилсульфоксид) с концентрацией 35 мг/см^3 и использовали фоновый электролит, в качестве которого выступал 1М нитрат натрия. Электрод сравнения – насыщенный хлоридсеребряный электрод в среде ДМСО [1]. На рисунке 1 изображены типичные вольтамперограммы, в таблице 1 представлены данные о положении и токах пиков для каждой гуминовой кислоты.

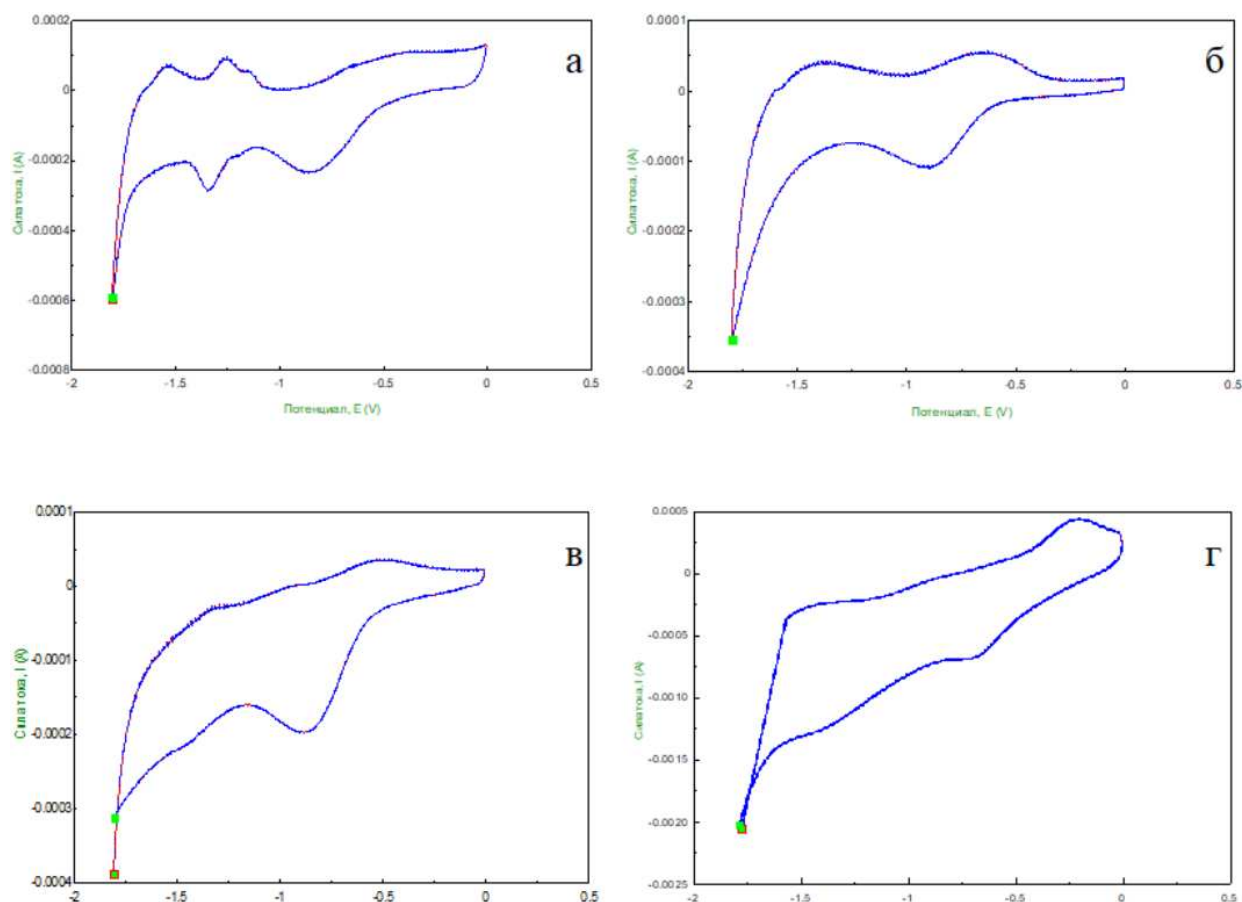


Рис. 1. Типичный вид вольтамперограммы на примере ГК ЧНТ(а); ТНТ (б); СВТ (в); СПТ(г)

**Параметры вольтамперограмм растворов гуминовых кислот
в ДМСО на платиновом электроде ***

Препарат	Катодный пик		Анодный пик	
	Е, В	I, мкА	Е, В	I, мкА
ГК СПТ	-1,33	558,7±0,6	-1,83	69,17±0,07
	-1,25	694,3±0,7	-1,23	20,43±0,02
	–	–	-0,75	380,1±0,4
ГК СВТ	-1,43	199,4±0,2	-1,48	14,45±0,01
	-2,02	217,4±0,2	-1,06	36,08±0,04
ГК ТНТ	-1,40	164,8±0,2	-2,00	35,48±0,04
	–	–	-1,15	36,24±0,04
ГК ЧНТ	-1,40	233,1±0,2	-2,00	75,23±0,08
	-1,90	287,5±0,3	-1,80	93,64±0,09
	–	–	-1,70	53,84±0,05

Примечание: * – потенциалы приведены относительно стандартного водородного электрода, при пересчете использовались значения потенциала насыщенного каломельного электрода и потенциал электрода сравнения AgCl/Ag в ДМСО [2].

Катодные токи на порядок выше анодных, что говорит о преобладании окислительных свойств ГК над восстановительными. По полученным данным видно, что у разных ГК разное количество анодных и катодных пиков, что связано с разнородным функциональным составом ГК. Наибольшее число типов редокс-активных групп присутствует в ГК ЧНТ, что связано с высоким содержанием фенольных фрагментов [3]. Потенциалы пиков совпадают с таковыми для хинонов различной структуры (таблица 2), что косвенно подтверждает роль хиноидных структур в окислительно-восстановительных свойствах ГК.

Таблица 2

Потенциалы полуволны для пар хинон/семихинон *

Хинон	Е, В
1, 4-нафтохинон	- 1,72
1, 4-бензохинон	- 1,42
9, 10-антрахинон	- 1,94
9, 10-фенантрохинон	- 1,70

Примечание: * – потенциалы приведены относительно стандартного водородного электрода, при пересчете использовались значения потенциала насыщенного каломельного электрода и потенциал пары ферроцен/ферроцений в ДМСО [4].

Для определения эффективности переноса электронов ГК методом спектроскопии электрохимического импеданса было определено фарадеевское сопротивление окислительно-восстановительной реакции. Эта величина напрямую связана с гетерогенной константой скорости переноса электронов. Типичный годограф, полученный в ходе эксперимента, представлен на рисунке 2.

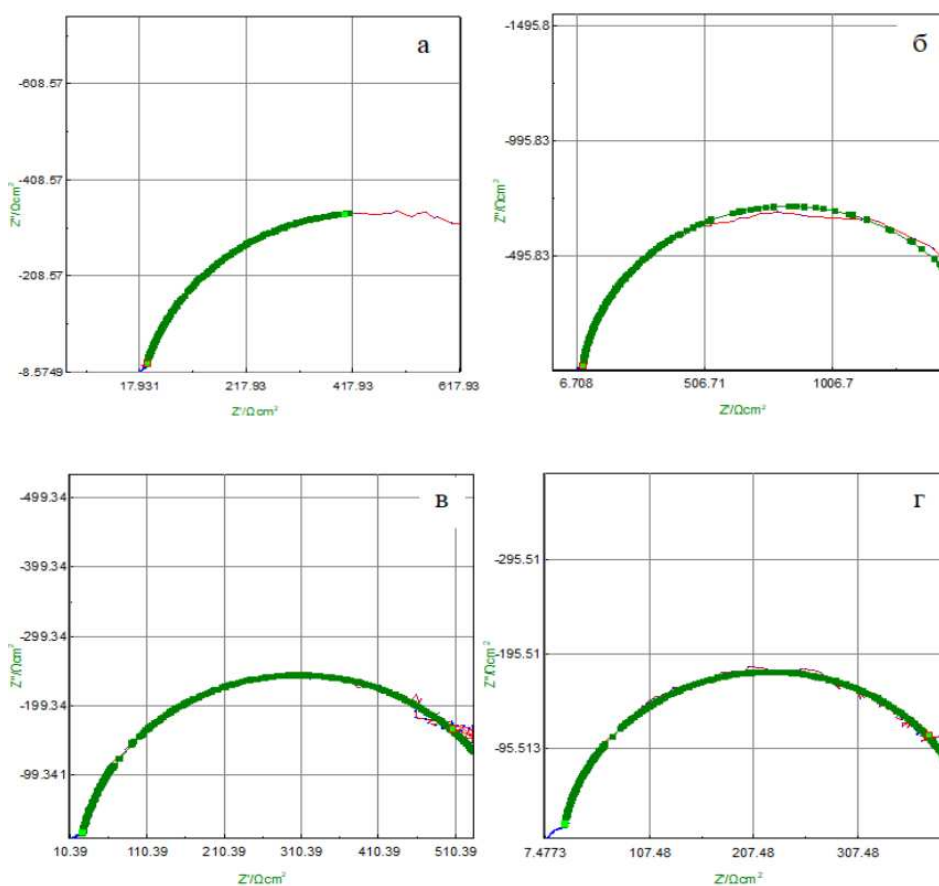


Рис. 2. Типичный годограф раствора ГК в ДМСО ЧНТ (а); ТНТ (б); СВТ (в); СПТ (г)

Годографы импеданса всех исследованных ГК имеют типичный вид, состоящий из двух полуокружностей, первая связана с сопротивлением переноса через границу раздела электрод-электролит, а вторая с фарадеевским сопротивлением химической реакции. Для математической обработки была использована лестничная схема Войта, структура модели которой состоит из последовательно связанных звеньев, каждое из которых моделирует конечную проводимость с соответствующей постоянной времени [5]. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры импедансного спектра

Препарат	Е, В	R_F , Ом	C_F , мкФ
1	2	3	4
ГК СПТ	-1,83	567±5	51±1
	-1,23	357±3	82,0±0,5
	-0,75	687±2	35,0±0,7
	-1,33	795±5	33±1
	-1,25	568±6	55,1±0,7
ГК СВТ	-1,48	567±3	35,8±0,5
	-1,06	906±9	60±1
	-1,43	504±5	78±1
	-2,02	440±4	49±1

1	2	3	4
ГК ТНТ	-1,15	1593±7	27,7±0,3
	-1,40	1710±10	33,5±0,3
	-2,00	3720±40	61,2±0,5
ГК ЧНТ	-1,40	848±6	37,1±0,9
	-1,65	2210±30	54,8±0,5
	-1,75	2130±20	57,9±0,4
	1,85	1920±20	-65,0±0,5
	-2,00	1910±40	95,2±0,2

Наибольшее фарадеевское сопротивление наблюдается для ГК ЧНТ. Самые низкие значения фарадеевского сопротивления у ГК СПТ, поэтому именно их наиболее эффективно использовать в качестве медиатора электронного транспорта. Суммарная фарадеевская емкость снижается в ряду ГК ЧНТ > ГК СПТ > ГК СВТ > ГК ТНТ, что коррелирует со снижением содержания фенольных гидроксиллов в ГК [6].

Таким образом, фарадеевская емкость, определенная методом спектроскопии электрохимического импеданса, может служить показателем окислительно-восстановительной емкости по хиноидным группам, в отличие от спектрофотометрических методов, которые определяют суммарное содержание редокс-активных групп.

Библиографический список

1. Marple L. W. Reference electrode for anhydrous dimethylformamide // *Analytical Chemistry*. 1967. Vol. 39. No. 7. P. 844–846. doi: 10.1021/ac60251a014
2. Jaworski J. S., Leniewska E., Kalinowski M. K. Solvent effect on the redox potential of quinone-semiquinone systems // *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*. 1979. Vol. 105. No. 2. P. 329–334.
3. Шитова А. С., Максимова М. Г. Особенности строения гумусовых кислот, проблемы классификации и прогнозирования свойств // *Вестник магистратуры*. 2019. № 4–2 (91). С. 24–26.
4. Abeer F. A., Al-Allaf T. A. K., Sulaiman S. T. Electroanalytical studies of ferrocene and substituted ferrocene in non-aqueous solvents by rotating disc voltammetry // *Analyst*. 1988. Vol. 113. No. 2. P. 333–336.
5. Гнеденков С. В., Синебрюхов С. Л. Импедансная спектроскопия в исследовании процессов переноса заряда // *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2006. № 5. С. 6–16.
6. Влияние рН среды на связывание ионов тяжелых металлов гуминовыми веществами и гиматомелановыми кислотами торфов / Е. Д. Дмитриева, К. В. Сюдюкова, М. М. Леонтьева, Н. Н. Глебов // *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки*. 2017. Т. 159. Кн. 4. С. 575–588.

ВЛИЯНИЕ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА ПОДВИЖНОСТЬ ФОСФОРА В ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВАХ

Н. В. Сырчина, Т. И. Кутявина
Вятский государственный университет,
nvms1956@mail.ru, usr12097@vyatsu.ru

Непригодная для химической переработки смесь серы и грунта может найти применение в качестве ценного мелиоранта для щелочных почв. Внесение молотой серо-грунтовой смеси (СГС) в почву приводит не только к снижению щелочности, но и к значительному повышению подвижности фосфора. Подвижность фосфора в почве коррелирует с массой внесенной СГС.

Ключевые слова: серосодержащие отходы, серо-грунтовая смесь, удобрения, щелочные почвы, подвижность фосфора.

Техногенная сера (S^0) является одним из побочных продуктов переработки добываемого углеводородного сырья. Хранение S^0 на открытых площадках (серных картах) приводит к образованию трудноутилизируемого отхода – загрязненного серой грунта (код 31211395204). Выделение из соответствующего отхода серы экономически нецелесообразно, поэтому серо-грунтовая смесь (СГС) складывается на специальных полигонах. Несмотря на то, что СГС относится к малоопасным веществам (класс опасности IV), хранение соответствующего отхода на полигонах сопровождается поступлением в окружающую среду серосодержащей пыли, H_2S , SO_2 , H_2SO_4 и др. [1]. Для вовлечения СГС в переработку необходимо выявить такие направления ее использования, которые не требуют тщательной очистки серы от грунта. Одним из перспективных направлений может стать производство на основе СГС мелиорантов для щелочных почв. Примесь грунта в составе соответствующих мелиорантов является весьма полезным компонентом, поскольку позволяет снизить слеживаемость и уменьшить пожаро- и взрывоопасность агрохимиката. Кроме того, частицы грунта выступают в качестве носителей уникальной аборигенной сероокисляющей микробиоты, сформировавшейся в местах хранения серы.

В настоящее время опубликовано большое количество работ, посвященных перспективам использования элементарной (молекулярной) серы в качестве агрохимиката [2]. Внесенная в щелочную почву сера подвергается микробиологическому окислению, конечным продуктом которого является серная кислота, нейтрализующая избыточную щелочность. Снижение pH приводит к изменению свойств почвы, в том числе подвижности и биодоступности соединений фосфора, играющих важную роль в минеральном питании растений [3, 4]. Следует отметить, что в опубликованных источниках практически отсутствует информация о возможности и целесообразности ис-

пользования таких техногенных отходов, как СГС в качестве минеральных удобрений и почвенных мелиорантов.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния тонкомолотой СГС на подвижность фосфора в щелочных почвах.

Для выполнения исследований использовали образцы СГС, отобранные на одной из открытых площадок для хранения серы. Серо-грунтовая смесь представляла собой смесь серы и каменистого диабазового грунта. Перед внесением в почву СГС измельчали в фарфоровой ступке, отделяли не поддающиеся измельчению крупные включения диабазы, просеивали через сито с размером ячеек 1×1 мм и вновь измельчали в ступке до пылевидного состояния. Подготовленную таким образом СГС вносили в щелочную засоленную почву, перемешивали, помещали в пластиковые контейнеры, увлажняли дистиллированной водой до влажности $65 \pm 5\%$ и оставляли в лаборатории при температуре 23 ± 2 °С в условиях естественного освещения. Дополнительное увлажнение почвы проводили только после ее высыхания на всю глубину (8 см). Через месяц после внесения первой добавки СГС, в почву всех вариантов вносили вторую добавку мелиоранта. Пробы для определения подвижности фосфора отбирали через 35 суток после внесения второй добавки. В таблице 1 приведены данные о количестве СГС, внесенной в почву разных вариантов эксперимента.

Таблица 1

**Количество серо-грунтовой смеси, внесенной в почву
разных вариантов эксперимента**

Вариант	Масса добавки СГС, г/кг	
	Первая добавка	Вторая добавка
1 (Контроль)	Без добавок	Без добавок
2	4,5	1
3	3,0	1
4	1,5	1
5	0,75	1

Основные характеристики щелочной почвы, используемой для экспериментальных исследований: содержание ионов CO_3^{2-} – 0,1 мг-экв/100 г; содержание ионов HCO_3^- – 0,75 мг-экв/100 г; рН фильтрованной водной вытяжки (1:5) – 8,7; удельная электропроводность (УЭП) фильтрованной водной вытяжки (1:5) – 273 мкСм/см.

Определение подвижного фосфора (P_2O_5) в почве выполняли по методу Мачигина в модификации ЦИНАО в соответствии с ГОСТ 26205-91. Содержание фосфат-ионов в водной вытяжке из почвы (1:5) определяли согласно ПНД Ф 14.1:2.4.248-07. Для проведения измерений использовали спектрофотометр ПЭ-5300ВИ. Приготовление водных вытяжек и измерение водородного показателя (рН) и удельной электропроводности (УЭП) контрольных и экспериментальных образцов почвы проводили согласно ГОСТ 26423-85.

В таблице 2 приведены данные о содержании фосфора в почве и фосфат-ионов в водной вытяжке из почвы (1:5) в разных вариантах эксперимента.

Таблица 2

Содержание фосфора (P₂O₅) в почве и водных вытяжках из почвы (1:5)*

Вариант	Содержание P ₂ O ₅ ,		рН водной вытяжки	Удельная электропроводность водной вытяжки, мкСм/см
	в почве, мг/кг	в водной вытяжке, мг/дм ³		
1	18,4±1,2	0,21±0,04	8,7±0,2	273±12
2	45,19±5,6	0,55±0,08	7,5±0,1	1232±22
3	34,68±4,3	0,43±0,06	7,5±0,1	1258±24
4	28,04±3,7	0,32±0,05	7,5±0,2	1278±21
5	26,16±3,4	0,31±0,05	7,5±0,2	1232±30

Примечание: * жирным шрифтом выделены статистически значимые различия между контролем (вариант № 1) и экспериментом (варианты № 2–5) (P > 0,95).

Согласно полученным результатам, внесение тонкомолотой СГС в щелочную почву приводит к снижению рН, увеличению УЭП водной вытяжки и повышению подвижности фосфора. Между содержанием подвижных форм фосфора в почве и массой внесенной СГС выявлена сильная положительная корреляция (коэффициент корреляции Пирсона > 0,98). Переход фосфора в подвижную форму происходил на фоне существенного снижения щелочности и роста УЭП, при этом к концу эксперимента достоверного различия между экспериментальными вариантами по таким показателям, как рН и УЭП почти не было, что обусловлено буферными свойствами почвы. Стабилизация рН на уровне 7,5±0,2 свидетельствует об отсутствии чрезмерного закисления щелочной почвы даже при внесении высоких доз СГС (до 15 т/га). Увеличение УЭП, к которому привело внесение СГС, обусловлено вытеснением солей из почвенного поглощающего комплекса в раствор. Соответствующий эффект облегчает возможность удаления избытка солей из почвы методом промывания.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что СГС является перспективным сырьем для производства мелиорантов для улучшения свойств щелочных засоленных почв. Внесение СГС в щелочную засоленную почву приводит не только к снижению щелочности и обогащению почвы сульфатами, но к существенному повышению подвижности фосфора. Рост подвижности фосфора положительно коррелирует с массой внесенной в почву СГС.

Разработка и внедрение технологии переработки СГС в агрохимикаты позволит существенно сократить количество отходов, образующихся при очистке углеводородного сырья от вредных примесей, и вывести на рынок новый бюджетный агрохимикат, оказывающий положительное влияние на свойства щелочных почв.

Библиографический список

1. Шагиева Д. Р., Храмов Ю. В. Оценка экологического воздействия серохранилищ // Вестник Казанского технологического университета. 2015. № 9. С. 269–271.
2. Комплексная переработка природных фосфоритов с использованием щелочных отходов нефтехимического синтеза и газовой серы / Р. Х. Хузиахметов, Н. В. Сырчина,

Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Иванова // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 102–108.

3. Оптимизация состава удобрений на основе молотых фосфоритов / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60. № 12. С. 133–139.

4. Хвосты обогащения фосфоритов Вятско-камского месторождения как вторичные материальные ресурсы для производства натуральных удобрений / Н. В. Сырчина, Н. Н. Богатырёва, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 107–114.

ОЦЕНКА СВЯЗИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА С СОСТОЯНИЕМ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТА ПО УНИЧТОЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

М. Г. Кургузкин¹, П. М. Кургузкин²

*¹ Автономное учреждение «Управление Минприроды УР»,
mgk@minpriroda-udm.ru,*

*² ФГБОУ ВО Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова, 18kpt@mail.ru*

Отмечено, что для выявления негативных последствий техногенного воздействия на окружающую природную среду на ранней стадии их проявления необходимо использовать биологические индикаторы. На примере результатов комплексного экологического мониторинга объекта по уничтожению химического оружия рассмотрена оценка связи между загрязнением почвы и интегральными показателями состояния наземных экосистем. Предложен вариант интерпретации зависимости между вектором загрязнения почв и интегральной функцией желательности.

Ключевые слова: экологический мониторинг, техногенный объект, биологический мониторинг, индикационные показатели экосистем, функция желательности, вектор загрязнения.

Результативность территориальных и локальных природоохранных программ и мероприятий в значительной степени зависит от полноты и достоверности информации о текущем экологическом состоянии окружающей среды. Источником такой информации является экологический мониторинг территории. Формирование эффективных систем комплексного экологического мониторинга представляет собой сложную научно-техническую задачу. Наиболее полно эта задача решена применительно к промышленным объектам повышенной опасности (атомные электростанции, объекты уничтожения химического оружия и другие подобные объекты) [1–3].

Практика мониторинговой деятельности показывает, что наиболее отработанным является этап получения информации о загрязнении территории. При этом степень опасности экологической ситуации, как правило, оценива-

ется путем сравнения текущих концентраций маркерных поллютантов в природных средах с их предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Используются также агрегированные индексы, основанные на суммировании отношений текущих концентраций загрязняющих веществ к их ПДК. Примерами подобной оценки являются Комплексный индекс загрязнения атмосферы (Руководящий документ РД 52.04.667-2005), Удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (Руководящий документ. РД 52.24.643-2002), суммарный показатель химического загрязнения почв Z_c (Методические указания. МУ 2.1.7.730-99).

Учитывая, что большая часть разработанных ПДК имеет санитарно-гигиеническое «происхождение», можно утверждать, что фактическим результатом применения покомпонентного сравнения или агрегированных индексов является оценка соответствия уровня загрязнения территории требованиям экологического благополучия среды обитания человека.

С точки зрения выявления негативных изменений в окружающей природной среде на ранней стадии ее деградации оценка на основе ПДК малопродуктивна. Эта задача может быть решена на основе использования более чувствительных, по сравнению с организмом человека, индикаторов. Известно, что такими индикаторами являются отдельные представители растительного и животного мира [4].

Мониторинг растительного и животного мира или биологический мониторинг включается в состав комплексного экологического мониторинга опасных производственных объектов [5]. Вместе с тем, практика использования результатов биомониторинга для самостоятельной оценки вне связи с другими показателями, например, уровнем загрязнения территории, существенно снижает ее информативность, включая возможность идентификации источника негативного воздействия. Интегральный характер реакции организмов-индикаторов на общее негативное воздействие приводит к определенным сложностям в количественном определении показателей, являющихся причиной этой реакции. Сложности обусловлены также естественными процессами в экосистемах, которые влияют на результаты биологического мониторинга.

Отмеченные выше особенности объясняют актуальность совместного анализа изменений в абиотической и биотической составляющих окружающей природной среды в условиях техногенного и антропогенного воздействия. Практическая задача может быть сформулирована как количественная оценка связи между уровнем загрязнения природных сред (воздух, почва, поверхностные воды) на определенной территории и показателями типовых для данной территории экосистем.

В качестве примера рассмотрены результаты экологического мониторинга почвенного покрова в зоне влияния объекта по уничтожению химического оружия (ОУХО) в г. Камбарка Удмуртской Республики и результаты биологического мониторинга типовых для рассматриваемой территории наземных экосистем.

В соответствии с видом отравляющего вещества (люизит) и технологией его уничтожения в процессе мониторинга загрязнения почвенного покрова определялись концентрации следующих веществ: люизит; мышьяк; хром; стронций; свинец; цинк; медь; никель; железа оксид; марганца оксид; ванадий; титана оксид; хлорид-ион; водородный показатель. Отбор почвенных проб проводился в 70 точках.

Биомониторинг в зоне влияния ОУХО проводился на 15 биоплощадках, размещенных на территории наземных экосистем. В качестве типовых экосистем выбраны сосняки орляковые на дерновых среднеподзолистых песчаных почвах, ельники березово-ольховые на дерново-подзолистых песчаных почвах, ельники березово-ольховые на торфянисто-подзолистых почвах, дубравы пойменные на дерновых аллювиальных зернистых почвах [5]. Показатели экосистем, используемые в качестве индикаторов их состояния, приведены в таблице.

Таблица

Индикационные показатели наземных экосистем [5]

Индикационный показатель
Число видов сосудистых растений
Коэффициент состояния древостоя
Среднее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса
Индекс синантропизации флоры сосудистых растений
Число видов эпифитной лишайнофлоры
Среднее проективное покрытие эпифитных лишайников
Индекс ОЧА
Число видов дождевых червей семейства Lumbricidae
Биомасса дождевых червей семейства Lumbricidae
Доля сем. Lumbricidae от общей численности почвенной мезофауны
Активность почвенной инвертазы
Активность почвенной каталазы

Для каждого индикационного показателя определялись частные функции желательности, на основании которых, как среднее геометрическое, вычислялась интегральная функция желательности **D**. В [5] предложена пятиуровневая градация интегральной функции желательности с верхней границей 0,8–1,0 («природная норма») и нижней границей 0,0–0,2 («технобиоценоз»).

На рисунке 1 показаны box-plot диаграммы значений интегральных функций желательности в 2006, 2008 и 2012 гг. Крестик и линия внутри прямоугольников межквартильного размаха обозначают среднее значение выборки и ее медиану соответственно. Как следует из рисунка, обобщенный показатель качества наземных экосистем **D** со временем имеет тенденцию к снижению.

В качестве интегрального показателя загрязнения почвенного покрова территории использовался вектор загрязнения **Pv** [6, 7], полученный как

функция главных факторов при снижении размерности массива данных мониторинга почвы на основе метода главных компонент.

Поскольку координаты точек пробоотбора почвы не совпадают с координатами площадок биомониторинга, для оценки связи между Pv и D определялось значение вектора повреждения в пределах отдельной биоплощадки. С этой целью с использованием программы Surfer методом Криге проведена интерполяция значений вектора загрязнения в точках, в результате которой сформирован сеточный файл. Далее определялись значения Pv в узлах сетки для отдельной прямоугольной ячейки, в которую попадает координата центра биоплощадки. Значение вектора загрязнения в пределах указанной площадки вычислялось как среднее арифметическое четырех узловых значений Pv .

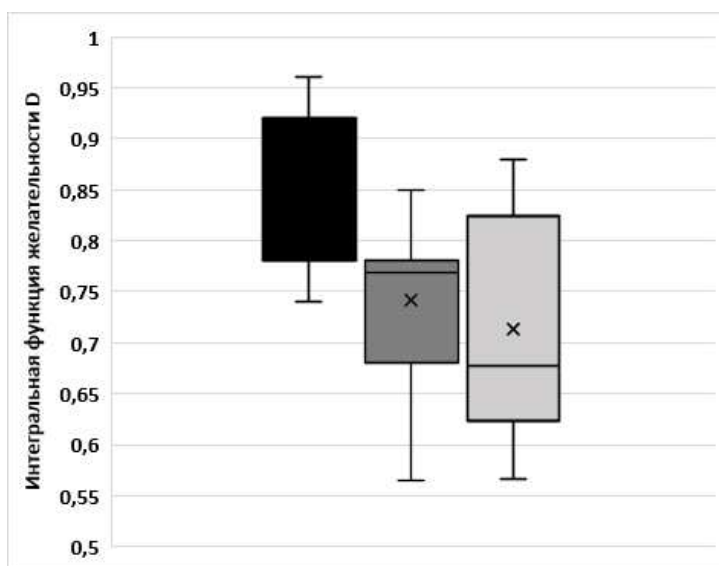


Рис. 1. Box-plot диаграммы интегральной функции желательности (слева направо – 2006, 2008, 2012 гг.)

В качестве примера на рисунке 2 показаны точки с координатами Pv и D для каждой биоплощадки, полученные в 2012 г., и их аппроксимация с помощью полинома второй степени. Как следует из рисунка, парабола имеет экстремум в виде максимума. Аналогичный, хотя и менее выраженный максимум получен также для данных 2006 г.

Подобные результаты могут быть интерпретированы следующим образом. В рамках подхода «доза-эффект» можно предположить, что содержание в почвенном покрове незначительного количества (малых доз) контролируемых веществ, в основном тяжелых металлов, может играть положительную роль в стимулировании жизнедеятельности экосистемы. При достижении определенных концентраций позитивный эффект достигает максимума. Дальнейший рост концентраций (оставаясь ниже ПДК) вызывает появление признаков ухудшения качества экосистемы и начало ее деградации. При этом значение Pv , соответствующее максимуму кривой, можно определить как критическое, превышение которого приводит к появлению указанных выше негативных последствий.

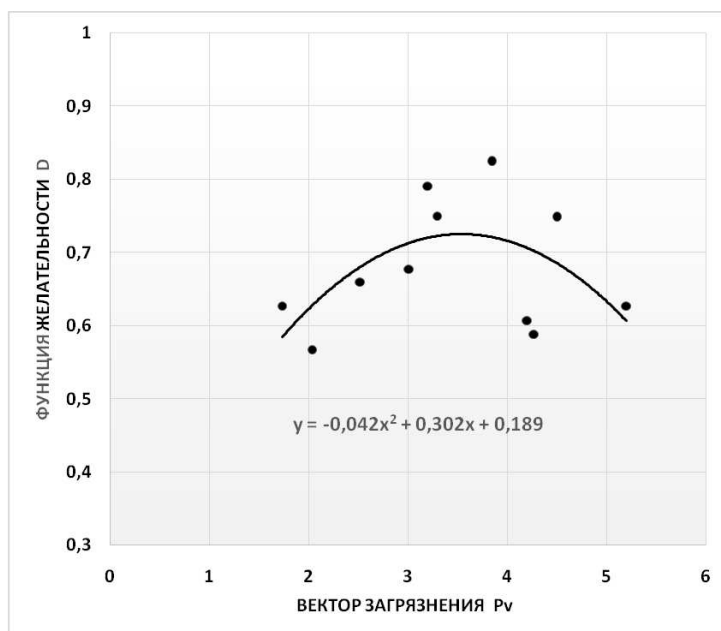


Рис. 2. Зависимость интегральной функции желательности от вектора загрязнения

С целью надежного в статистическом смысле подтверждения сформулированного выше предположения необходимо увеличение объема выборок, особенно в части данных биомониторинга. Кроме того, продолжение комплексного экологического мониторинга в зоне влияния ОУХО важно с точки зрения оценки тенденций изменения качества экосистем, поскольку реакция биоты на загрязнения имеет, как известно, инерционный характер.

Библиографический список

1. Ашихмина Т. Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия : монография. Киров : Изд-во «Вятка», 2002. 544 с.
2. Экологический мониторинг опасных производственных объектов: опыт создания и перспективы развития (на примере систем экологического контроля и мониторинга объектов по уничтожению химического оружия): монография / под общ. ред. проф. В. Н. Чуписа. М. : Научная книга, 2010. 526 с.
3. Комплексный экологический мониторинг в районах расположения опасных промышленных объектов, системы экологического мониторинга объектов по уничтожению химического оружия и атомных электростанций: монография / под общ. ред. проф. В. Н. Чуписа. М. : Научная книга, 2014. 528 с.
4. Биоиндикаторы и биотестсистемы в оценке окружающей среды техногенных территорий : монография / под общ. ред. Т. Я. Ашихминой, Н. М. Алалыкиной. Киров : Изд-во «О-краткое», 2008. 208 с.
5. Биологический мониторинг в зоне влияния Камбарского завода по уничтожению химического оружия: опыт организации и реализации: монография / под ред. Б. Г. Котегова. Ижевск : Изд-во «Удмуртский университет», 2013. 178 с.
6. Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М. Вариант векторного критерия оценки экологического состояния территории // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : ВятГУ, 2017. С. 25–27.

7. Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М. Оценка экологического состояния природно-технической системы на основе векторного критерия // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21. № 1. С. 115–124. doi: 10.22213/2410-9304-2023-1-115-124

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОЙ СВАЛКИ НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ

М. М. Подлевских, С. Л. Евдокимова, А. А. Бабина
Вятский государственный университет,
stud161248@vyatsu.ru, stud180622@vyatsu.ru, stud161193@vyatsu.ru

В статье рассмотрены негативные процессы, оказывающие влияние на окружающую природную среду, возникающие при эксплуатации полигонов твёрдых коммунальных отходов и несанкционированных свалок. Проведен химический анализ и фитотестирование почв, отобранных на территории свалки. Описано влияние свалки на почвенный покров.

Ключевые слова: несанкционированная свалка, почвенный покров, загрязнение, фитотестирование.

При эксплуатации полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО) возникают различные негативные процессы, оказывающие влияние на окружающую природную среду. К основным процессам, протекающим на полигонах, относят выделение в атмосферу биогаза (при разложении в основном органических отходов), загрязнение грунтовых вод при контакте со свалочным фильтратом полигона, переуплотнение почв и порчу их плодородного слоя.

Степень воздействия отходов зависит от следующих факторов:

- количества и класса опасности отходов;
- площади территорий, изъятых под объекты размещения отходов;
- наличия и эффективности систем защиты окружающей среды на объектах длительного хранения и захоронения отходов;
- местоположения объекта размещения отходов по отношению к поверхностным и подземным водным объектам, по отношению к селитебной территории.

Оценка уровней содержания загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды исследуемой территории производится посредством отбора проб и последующего лабораторного анализа образцов [1].

Первичный экологический контроль за состоянием несанкционированных свалок включает в себя 3 этапа. Первый этап предполагает подготовительную работу, которая заключается в выборе карты местности, составления маршрута. Вторым этапом определяется состав работ. Определяют ориентировочные размеры свалки, состав свалки, её состояние. Также наблюдают за воздействием, оказываемым свалкой на компоненты природной среды, составляют характеристику участка установленной свалки. Социологическая

составляющая заключается в опросе местного населения об отношении к этому объекту. В ходе заключительного этапа происходит обработка результатов и оформляется паспорт свалки (экологического объекта) [2].

Порча плодородного слоя почвы представляет собой частичное или полное разрушение почвенного покрова, характеризующееся ухудшением его физического и биологического состояния, а также снижением (потерей) плодородия почв, вследствие чего использование земельного участка невозможно, либо требует введения специальных ограничений, включая консервацию земель для проведения мероприятий по восстановлению плодородия почв. Эксплуатация земельного участка с испорченным плодородным слоем почвы невозможна без проведения мелиоративных мероприятий по восстановлению плодородия почв.

При размещении отходов на необорудованном для этого месте происходит нарушение почвенного покрова, изменяется гидрогеологический и гидрологический режимы, образуется техногенный рельеф, происходит ухудшение экологической обстановки.

Для оценки негативного влияния несанкционированной свалки на почвенный покров были отобраны пробы почвы в Верхошижемском районе Кировской области в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017 [3]. Координаты места пробоотбора – 58.038958 с. ш., 49.093859 в. д. Размер участка свалки – 2,89 га (рис. 1). Источник загрязнения – отходы производства и потребления 4–5 классов опасности (ТКО, строительный мусор, крупногабаритные отходы). Ближайшая жилая застройка находится на расстоянии 1 км, в 200 м – линии электропередач. С восточной стороны свалка примыкает к автомобильной дороге Киров-Советск. Фоновая почва для сравнения отбиралась в 600 м от свалки.



Рис.1. Место пробоотбора

Влияние свалки проявляется в подкислении почвы. рН фоновой пробы составил 7,10 ед. рН, контрольной – 6,81 ед. рН [4].

Было проведено фитотестирование проб почвы. Фитотестирование как метод мониторинга почв является интегральным методом анализа, позволяющим оценить фитотоксичность почв. Для анализа используются различные тест-растения, которые реагируют на неблагоприятные изменения в почве,

воздухе и других средах. В качестве тест объекта был выбран красный клевер, так как он используется в качестве посевной культуры при рекультивации полигонов.

Во время эксперимента семена были посеяны в три емкости для контрольного сравнения с почвой, являющейся фоновой, и три тестовых образца с почвой со свалки. Масса почвы во всех образцах составляла 240 г. Длительность эксперимента составила 10 дней.

На рисунке 2 представлены растения из образцов контрольного и тестового сравнения в конце эксперимента.

При сравнении тестовых и контрольных образцов заметно различие в длине наземных частей растения. У растений в почве со свалки корни небольшие.

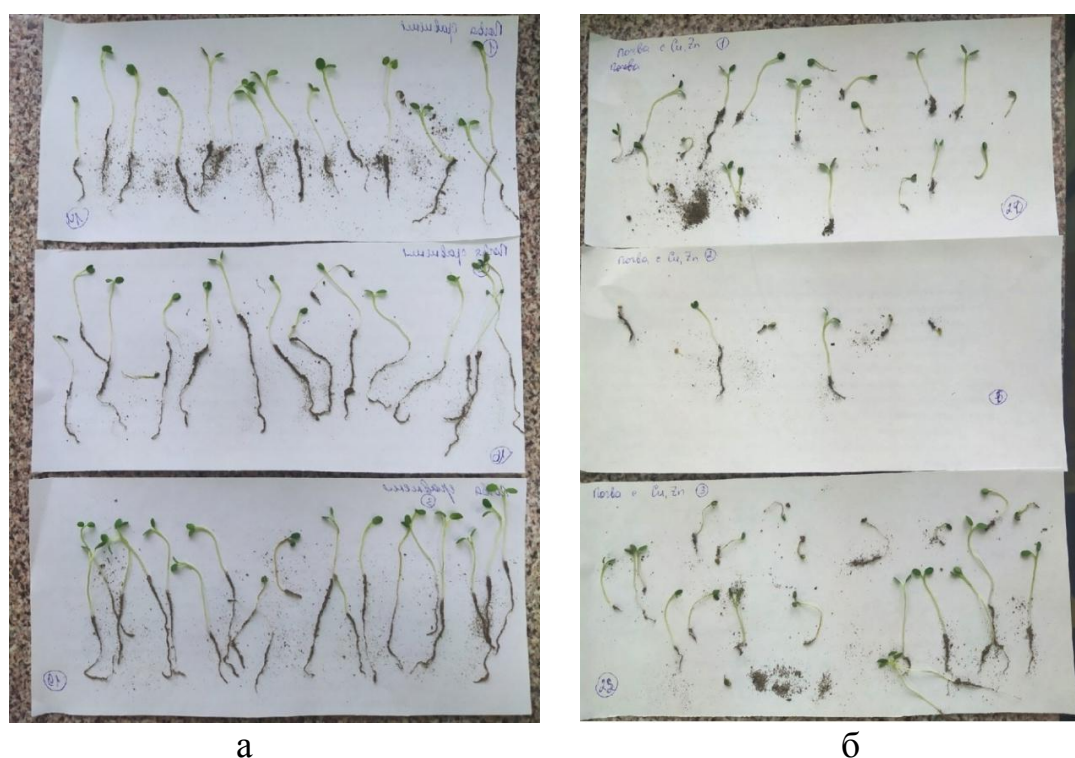


Рис. 2. Контрольные образцы (а) и тестовые образцы (б) тест-объекта

Из таблицы 1 можно заметить, что средняя длина корней у растений тестовых образцов равна 0,6 см, тогда как длина корней контрольных образцов больше в 4,6 раза и составляет 2,8 см.

Таблица 1

Показатели длины частей растения

Объекты исследования	№	Среднее значение длины, см	
		побеги	корни
Контрольные образцы	1	3,15	2,7
	2	2,7	2,7
	3	3,0	3,0
Тестовые образцы	1	1,7	1,0
	2	1,0	0,1
	3	1,5	0,6

Данные, полученные во время эксперимента, статистически обрабатывались по критерию Стьюдента (табл. 2), где за критическое значение брали $t_{\text{крит}} = 4,30$ (при $p < 0,05$ – вероятность ошибки), если полученное значение критерия больше критического значения, то различия достоверны.

Таблица 2

Статистические показатели длины частей растений

Показатель	Группа	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка	$t_{\text{знач}}$
Длина корней	Контрольная	2,8	0,17	0,28	7,96
	Тестовая	0,57	0,45		
Длина побегов	Контрольная	2,95	0,23	0,25	6,2
	Тестовая	1,4	0,36		

Так как полученное значение критерия превышает теоретическое значение t – распределения Стьюдента, можно сделать вывод, что фактор (загрязнение почвы) оказывает влияние на рост растений.

Средняя энергия прорастания семян в тестовых образцах равна 34%, наблюдается негативное влияние свалки. В таблице 3 приведены результаты по энергии прорастания семян.

Таблица 3

Энергия прорастания семян красного клевера

Номер опыта	Число проростков, ед.	Энергия прорастания, %	Биомасса проростков, г
Контрольный образец № 1	14	40	
Контрольный образец № 2	16	45	
Контрольный образец № 3	19	54	
Среднее значение	16	46	0,073
Тестовый образец № 1	18	51	
Тестовый образец № 2	3	8	
Тестовый образец № 3	17	48	
Среднее значение	12	34	0,038

Средняя биомасса всех проростков в контрольных образцах равна 0,073 г, в тестовых образцах 0,038 г.

По результатам исследования можно сделать вывод, о том, что несанкционированные свалки несут высокую нагрузку на окружающую среду, в частности, на почвенный покров.

Для улучшения состояния окружающей среды и возвращения территории свалки в состояние, пригодное для хозяйственного использования, необходима ее рекультивация.

Библиографический список

1. Кудрявцева О. В., Ледашева Т. Н., Пинаев В. Е. Методика и практика оценки воздействия на окружающую среду. Проектная документация : учебное пособие. М. : Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2016. 170 с.

2. Муравьев А. Г., Каррыев Б. Б., Ляндзберг А. Р. Оценка экологического состояния почвы. Практическое руководство. Изд. 2-е, перераб. и дополн. СПб. : Крисмас, 2008. 216 с.

3. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Введ. 01.01.2019. М. : Стандартинформ, 2018 3 с.

4. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. Введ. 26.03.1985. М. : Изд-во стандартов, 1985. 6 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕРРИКОНОВ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ НА СОСТАВ ЛАБИЛЬНОГО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В. В. Сердюк

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Lerases01@gmail.com*

В статье представлены результаты определения содержания углерода лабильного органического вещества (ЛОВ) и ферментов – каталазы, инвертазы и дегидрогеназы в почвах, используемых для выращивания сельскохозяйственных культур и находящихся под непосредственным влиянием террикона, сформировавшегося в результате добычи угля.

Ключевые слова: органическое вещество, лабильное органическое вещество, террикон, отвалы угольных шахт.

При добыче угля происходит коренное изменение литогенной основы ландшафтов, и, как следствие, формирование отвалов вскрышных пород – терриконов. С отвалов на прилегающие территории поступает большое количество загрязняющих веществ – тяжелые металлы, угольная пыль, сера и др., что нарушает функционирование почв и делает их непригодными для выращивания сельскохозяйственных культур [1].

Цель работы: оценить состав и содержание ЛОВ и биологическую активность агроземов в районе шахты 15-бис.

Задачи исследования: определить содержание органического углерода ($C_{орг}$), углерода лабильных гумусовых веществ ($C_{лгв}$), углерода лабильных гуминовых кислот ($C_{лгк}$), углерода водорастворимых соединений ($C_{вов}$); определить биологическую активность почв по содержанию ферментов.

Объекты исследования – агрозоны, расположенные на разном расстоянии от террикона шахты 15-бис (Тулльская область, Щекинский р-он, х. Озерки): 1 м – разрез 1, 40 м – разрез 2, 300 м – разрез 3.

На прилегающие к террикону почвы поступают воды с низким значением рН (1,8–2,0 ед.), что связано с возможными превращениями пирита на поверхности террикона с образованием серной кислоты.

Это способствует подкислению почвы и снижению значений рН, что угнетает жизнедеятельность почвенной биоты и замедляет рост культурных растений.

Таблица 1

Содержание $C_{орг}$, $C_{лгв}$, $C_{вов}$ в агроземах

№ разреза	Горизонт, глубина, см	$pH_{водн}$	$C_{орг}$, %	$C_{лгв}$, %	$C_{лгк}$, %	$C_{вов}$, %
1	PU1 0–25	3,6	5,15	0,54	0,48	0,01
	PU _{ад} 25–77	3,8	3,53	0,22	0,12	0,01
	C _{техн} 77–...	4,1	4,55	0,38	0,32	0,14
2	PU1 0–5	4,5	7,03	0,96	0,80	0,14
	PU1 5–19	4,1	7,24	1,01	0,94	0,14
	PU _{ад} 19–58	3,8	8,16	0,96	0,68	0,14
	C _{техн} 58–...	3,8	3,45	0,25	0,16	0,13
3	P 0–32	4,1	7,38	1,41	1,20	0,14
	BT _у 32–52	3,8	6,57	0,67	0,64	0,12
	BT _у 52–70	3,7	3,47	0,27	0,18	0,13

Полученные результаты (табл. 1) свидетельствуют о высоком содержании $C_{орг}$ и $C_{лгв}$, что связано с поступлением большого количества угольной пыли на поверхность почвы [2, 3]. По мере удаления от вала террикона эти показатели возрастают.

В составе лабильных гумусовых веществ (ЛГВ) преобладают лабильные гуминовые кислоты (ЛГК), их высокое содержание, не характерное для серых лесных почв, вероятно, обусловлено составом угольной пыли. Возможно, при извлечении ЛГВ из почвенных образцов, экстрагировалась часть гуминовых кислот (ГК) угля. В ненарушенных серых лесных почвах $C_{гк} : C_{фк}$ варьирует от 0,5 до 1, то есть преобладают фульвокислоты, тип гумуса гуматно-фульватный [4].

По мере удаления от вала террикона происходит резкое увеличение содержания $C_{вов}$, поскольку на территории расположения этих разрезов произрастают сельскохозяйственные культуры. Несмотря на высокое содержание $C_{орг}$, содержание $C_{вов}$ низкое, что негативно сказывается на биологической активности, так как $C_{вов}$ – хороший источник питания почвенной биоты [5].

Ферментативная активность почв

№ разреза	Горизонт, глубина, см	Каталаза, см ³ /г мин ⁻¹	Инвертаза, мг глюкозы/г сут ⁻¹	Дегидрогеназы, мг ТФФ/10 г сут ⁻¹
1 (у вала террикона)	PU1 0–25	< 1 (очень бедная)	< 5 (очень бедная)	< 1 (очень бедная)
	PUad 25–70	1–3 (бедная)		
	Стехн 70–100			
2 (на краю конуса выноса)	PU1 0–5	< 1 (очень бедная)	15–50 (средняя обогащенность)	< 1 (очень бедная)
	PU1 5–19		< 5 (очень бедная)	
	PUad 19–58			
	Стехн 58–...			
3 (300 м от вала террикона)	P1 0–19	< 1 (очень бедная)	5–15 (бедная)	< 1 (очень бедная)
	P2 19–40		< 5 (очень бедная)	
	BTy 40–80			

Ферментативная активность исследуемых почв во всех разрезах очень низкая (табл. 2). Вероятно, это связано с низкими значениями рН почв и высоким содержанием в почвенном растворе алюминия (образующегося при растворении алюмосиликатов), токсичного для микроорганизмов [6]. Ещё одним фактором снижения биологической активности может быть низкое содержание $C_{\text{вов}}$, необходимого для питания. Выявлено высокое содержание $C_{\text{лгв}}$, однако он недоступен для питания почвенной биоты.

Выводы: 1. Исследованная территория испытывает на себе влияние террикона шахты 15-бис, которое обусловлено поступлением на поверхность почв угольной пыли и обломков породы. Это выражается в высоких значениях содержания углерода и неравномерности его распределения по поверхности и профилю почв. Содержание $C_{\text{орг}}$ колеблется от 5,15% до 7,38% в слое 0–20 см;

2. Значения рН водной вытяжки изменяются в диапазоне от 4,5 до 3,6; по мере удаления от террикона значения повышаются до 4,5; но не достигают величин, характерных для почв Тульской области (рН 5,5–6,0). Значительное подкисление почв вблизи отвалов связано с выветриванием серосодержащих пород и минералов. Образующаяся серная кислота поступает в воды, формируя кислые потоки с рН \approx 1,5–1,8.

3. Все исследованные пробы почв в зоне влияния отвала характеризуются высокими содержаниями ЛГВ, в составе которых преобладают ЛГК. Это связано с наличием большого количества угольной пыли и обломков угля, как на поверхности почв, так и в почвенном профиле.

4. Пахотные почвы, расположенные в зоне влияния террикона, отличаются низкой ферментативной активностью по каталазе, дегидрогеназе и инвертазе, что связано с низкими значениями рН почвы и высокими содержаниями растворимых соединений Al, токсичными для микробиоты.

Библиографический список

1. Формирование техногенного ландшафта при добыче полезных ископаемых / С. Э. Бадмаева, В. И. Космаков, Ю. В. Бадмаева, А. А. Бакач // Вестник КрасГАУ. 2020. № 5. С. 69–72. doi: 10.36718/1819-4036-2020-5-69-72
2. Орлов Д. С. Химия почв. М. : Изд-во Московского университета, 1992. 401 с.
3. Мамонтов В. Г., Родионова Л. П., Бруевич О. М. Уровни содержания лабильных гумусовых веществ в пахотных почвах // Известия ТСХА. 2009. Вып. 4. С. 121–123.
4. Орлов Д. В., Бирюкова О. Н., Суханова Н. И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М. : Наука, 1996. 258 с.
5. Чупрова В. В., Жукова И. В. Водорастворимое органическое вещество в почвах склонового агроландшафта Красноярской лесостепи // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2017. С. 140–149.
6. Soil pH determines microbial diversity and composition in the park grass experiment / K. Zhalnina, R. Dias, P. D. de Quadros, A. Davis-Richardson, F. A. O. Camargo, I. M. Clark, S. P. McGrath, P. R. Hirsch, E. W. Triplett // Microbial Ecology. 2014. Vol. 69. No. 2. P. 1–12. doi: 10.1007/s00248-014-0530-2

ТОКСИЧНЫЕ СВОЙСТВА ГОРОДСКИХ ПОЧВ ИРКУТСКА И АНГАРСКА

Д. Н. Лопатина

Институт географии имени В. Б. Сочавы СО РАН, daryaneu@mail.ru

В 2022–2023 гг. проведены ландшафтно-геохимические исследования городов Иркутск и Ангарск. Выполнено морфологическое описание полевых почвенных профилей. Отобраны образцы почв, пород и растительности для выполнения физико-химических анализов и определения свойств почв на исследуемых территориях. Проведен анализ фитотоксичности почв.

Ключевые слова: городские почвы, урбанозем, токсичность почв, загрязнение почв, Иркутск, Ангарск.

Из-за растущего антропогенного воздействия на природную среду и, тем более, городскую среду, изучение загрязнения и токсичности городских почв приобретает особую значимость и актуальность.

Подготовка образцов и проведение анализов почв и растительности осуществлялись по общепринятым методикам [1]. Выполнен анализ фитотоксичности почв, согласно ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений» [2]. Тестируемыми растениями при выполнении лабораторного опыта были выбраны семена редьки (согласно ГОСТ Р ИСО 22030-2009), поскольку редька – культура, которая особо чувствительна к условиям произрастания, в особенности, к воздействию тяжелых металлов.

Почва обретает свойства токсичности, когда в ней происходит накопление тяжелых металлов [3]. Почвы Иркутской области загрязнены тяжелыми

металлами [4]. Токсичные свойства почв проявляют себя в подавлении роста растений и микроорганизмов.

Результаты анализа на фитотоксичность почвы представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Доля проросших семян редьки в почвах города Иркутска

Номер образца	Местоположение	Доля проросших семян, %
1	Берег реки Иркут, 300 м до Иркутского моста	100
2	Берег реки Ушаковка, 10 м до впадения в Ангару	100
3	Берег реки по пути из Новоленино, недалеко от «Комбикормов»	80
4	Рабочий поселок Маркова, 10 м до реки, недалеко автомобильная дорога	70
5	Новоленинские болота, 300 м до автомобильной дороги	80
6	Озера по пути в Новоленино, овраг, 20 м до автомобильной дороги	40
7	Под Кайской горой, дачное садоводство, 100 м до берега р. Иркут	77

Таблица 2

Доля проросших семян редьки в почвах города Ангарска

Номер образца	Местоположение	Доля проросших семян, %
1	Въезд в город Ангарск, 10 м до автомобильной трассы	55
2	Двор административного здания, сосновый лесок	60
3	Пригород на ул. Карла Маркса, 5 м до автомобильной дороги	22
4	Пригород на ул. Карла Маркса, 5 м до автомобильной дороги (погребенный гумусовый горизонт)	65
5	Парк Строителей, сосновый лес	80
6	Улица Чайковского, сосновый парк	85
7	Двор жилого дома на другой стороне дороги от Сквера семьи	55

Согласно полученным результатам, в г. Иркутск наиболее нетоксичными являются почвы по берегам рек Иркут и Ушаковка, наиболее загрязненным участком оказался берег озера по пути в Новоленино, а почвы других ключевых площадок характеризуются хорошей всхожестью семян. В почвах пригорода Иркутска (пос. Маркова) отмечен удовлетворительный процент всхожести семян и, согласно методике, они являются нетоксичными.

Почвы парков и лесопосадок г. Ангарска оказались наиболее чистыми, о чем свидетельствует высокий процент пророста семян. Самыми токсичными являются почвы улиц и жилых дворов. В почве с погребенным гумусовым горизонтом на пригорке по оживленной улице Карла Маркса в г. Ангарске выявлен крайне низкий процент проросших семян в верхнем горизонте про-

филя, а в погребенном горизонте, напротив, семена редьки взошли в удовлетворительном количестве (65%).

В целом, почвы г. Иркутска и его пригородных территорий оказались менее токсичными, чем почвы г. Ангарска. Средние значения длины отростков и корней редьки в образцах почв г. Иркутска и его пригородных территорий оказались значительно выше, чем значения аналогичных показателей по г. Ангарску.

Необходимо отметить, что в городских условиях можно встретить природные ландшафты, которые сохранены с помощью различных средообразующих и средосохраняющих объектов – парков, роц, лесопосадок и др. В почвах таких участков выявлена наименьшая степень токсичности.

Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ госрегистрации темы АААА-А21-121012190055-7 (№ FWEM-2021-0002).

Библиографический список

1. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. М. : ГЕОС, 2006. 399 с.
2. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М. : Изд-во стандартов, 2009. 20 с.
3. Красильников Н. А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М. : Изд-во АН СССР, 1958. 463 с.
4. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / В. И. Гребенщикова, Э. Е. Лустенберг, Н. А. Китаев, И. С. Ломоносов. Новосибирск : Гео, 2008. 234 с.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ БИОПРЕПАРАТОМ НА ОСНОВЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

*М. М. Герцен, Ю. В. Каледин, Л. В. Переломов
Тулский государственный педагогический университет
имени Л. Н. Толстого, mani.gertsen@gmail.com,
01licey01@gmail.com, perelomov@rambler.ru*

Методом биотестирования установлено, что при обработке модельных субстратов раствором гуминовых кислот отмечается стимуляция посевных качеств тест-культуры – кресс-салата, а также снижается токсичность почвы, аналогично воздействию бактерий-нефтедеструкторов.

Ключевые слова: гуминовые кислоты, биопрепарат, бактерии-нефтедеструкторы, очистка почвы, *Pseudomonas*, сырая нефть.

Нефтезагрязнения оказывают отрицательное воздействие на химические, физические и биологические свойства почв. Под влиянием нефти и нефтепродуктов меняется численность бактерий основных физиологических групп, ухудшаются агрофизические, агрохимические свойства почвы, умень-

шается активность окислительно-восстановительных ферментов, обеспеченность почвы подвижными формами азота, фосфора. Непосредственное воздействие нефти и нефтепродуктов на растительный покров заключается в замедлении роста растений, нарушении фотосинтеза и дыхания, различных морфологических нарушениях корневой системы, листьев, стеблей и репродуктивных органов. Оперативную информацию о фитотоксичности почв можно получить при помощи тест-объектов – семян и проростков специальных растений (рис. 1) [1].

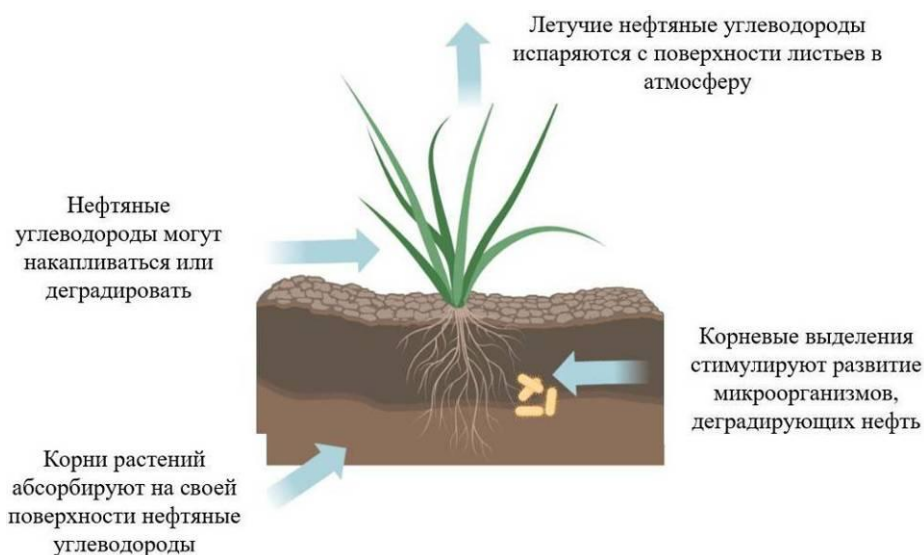


Рис. 1. Фиторемедиация почвы, загрязненной нефтепродуктами

Цель исследования – определение детоксицирующей способности гуминовых кислот и биопрепаратов на их основе по отношению к загрязненной нефтью почве.

Объекты исследования – гуминовые кислоты, выделенные методом водно-щелочной экстракции из тростникового низинного торфа Рязанской области [2]. В качестве микроорганизмов-деструкторов нефти использованы бактерии *Pseudomonas fluorescens* 142NF, предоставленные лабораторией биологии плазмид Института биохимии и физиологии микроорганизмов имени Г. К. Скрыбина РАН (г. Пущино) и Всероссийской коллекцией микроорганизмов [3]. Модельный грунт – серая лесная почва, загрязненная сырой нефтью в различных количествах: от низкого – II (1600 мг/кг) – до очень высокого – V (9800 мг/кг). В качестве тест-отклика использовалась биомасса проростков кресс-салата. Эксперимент проводили в трех повторностях в следующих вариантах:

- Контроль (нефтезагрязненная почва);
- Контроль + гуминовые кислоты;
- Контроль + *Pseudomonas fluorescens* 142NF;
- Контроль + монобактериальная биоорганическая композиция (ГК+ *Pseudomonas fluorescens* 142NF).

Через каждые 3-е суток почву обрабатывали дистиллированной водой (контроль) и соответствующими растворами: ГК, суспензией бактерий, сус-

пензией биоорганической композиции (10 мл). Биоорганическую композицию готовили путем наведения суспензии бактерий-нефтедеструкторов и растворов гуминовых кислот [2].

В литературе доминирует представление о контактном механизме транспорта углеводов нефти в клетки [4, 5]. Клетки потребляют эмульгированный субстрат с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ). Способность к синтезу естественных поверхностно-активных веществ (биосурфактантов), обнаруженная у многих микроорганизмов-деструкторов, имеет решающее значение для эффективности процесса биодegradации и обуславливает способность бактерий усваивать углеводороды [4].

Проведена оценка фитотоксического эффекта модельных токсикантов по посевным качествам семян в присутствии бактерий рода *Pseudomonas* (рис. 2).

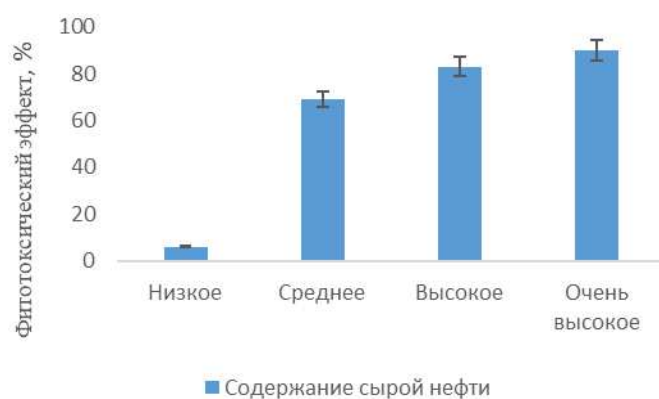


Рис. 2. Фитотоксический эффект, оцениваемый по посевным качествам семян кресс-салата в присутствии микроорганизмов-нефтедеструкторов рода *Pseudomonas*

При низких содержаниях модельных нефтепродуктов наблюдается незначительный фитотоксический эффект в присутствии бактерий-нефтедеструкторов (6%). При увеличении содержания УВ нефти, фитотоксический эффект резко возрастает до 69–90%. Даже при среднем содержании токсикантов почва фитотоксична, что сказывается на энергии прорастания семян. При изучении морфометрических показателей (длина корня и длина гипокотилия растений) и фитотоксического эффекта были получены следующие данные (рис. 3).

Степень воздействия сырой нефти на морфометрические показатели тест-объекта различна: максимальный фитотоксический эффект, оцениваемый по влиянию на корни растений, составил 44% и по длине гипокотилия – 76%. Минимальный – 15% (по развитию корня) и 18% (по развитию гипокотилия).

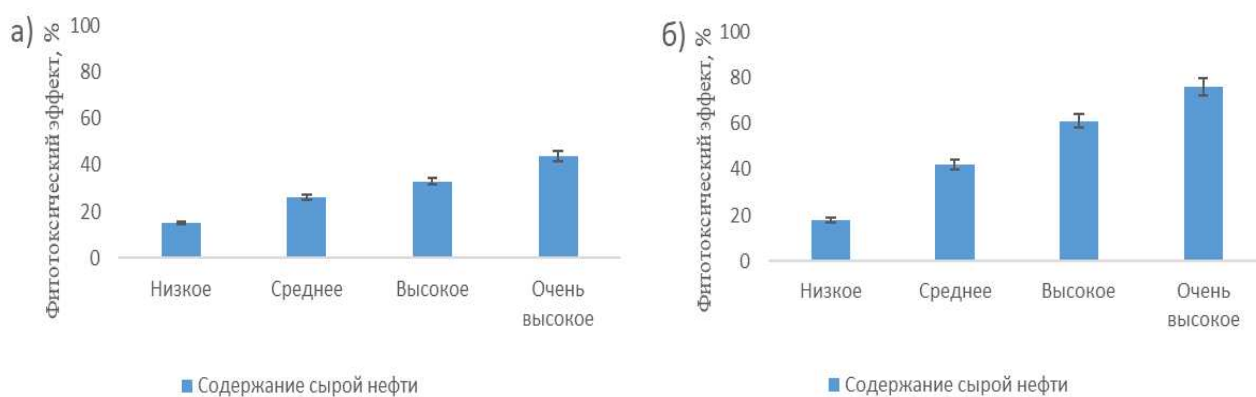


Рис. 3. Фитотоксический эффект, оцениваемый по морфометрическим характеристикам семян кресс-салата в присутствии микроорганизмов-нефтедеструкторов рода *Pseudomonas*: а – по длине корней; б – по длине гипокотиля

Изучали влияние гуминовых кислот на всхожесть и энергию прорастания семян (рис. 4).

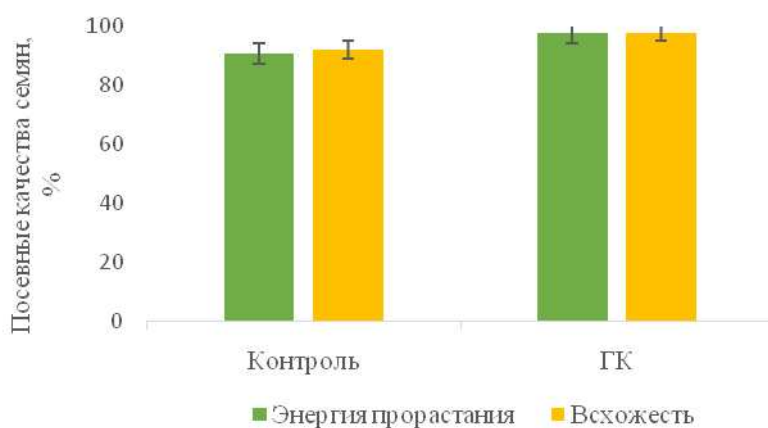


Рис. 4. Влияние гуминовых кислот на посевные качества семян кресс-салата

Установлено, что при обработке модельных субстратов раствором препарата гуминовых кислот отмечается стимуляция процессов роста и развития семян кресс-салата (рис. 4). Показатели всхожести и энергии прорастания семян превышали контроль на 6–7%. Полученные данные можно сравнить с экспериментами на ГК торфов и аналогичных субстратов [6]: показатели посевных качеств семян при использовании препарата ГК на 11% выше, чем при использовании ГК торфов. Улучшение посевных качеств кресс-салата при росте на серой лесной почве связано с возможностью удерживания растворенных в воде ГК естественным гумусом почвы, что ведет к постоянному увлажнению корней растений и поступлению к ним питательных веществ.

Исследовали влияние УВ нефти на посевные качества семян тест-объекта в присутствии препарата ГК (рис. 5).

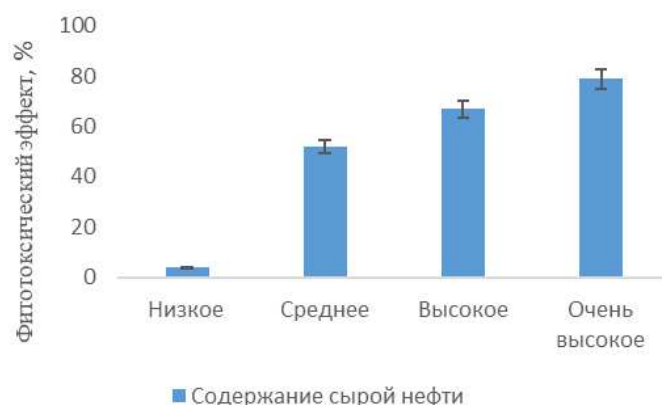


Рис. 5. Фитотоксический эффект, оцениваемый по энергии прорастания семян кресс-салата в присутствии гуминовых кислот

Эксперимент показал схожую тенденцию влияния модельных токсиантов на энергию прорастания семян в присутствии ГК, как и в присутствии бактерий: минимальный фитотоксический эффект (4%) наблюдается при минимальном содержании нефтепродуктов. При среднем содержании происходит резкое увеличение фитотоксичности почвы, которое постепенно растет при дальнейшем изменении объема загрязнителя.

Анализ морфометрических характеристик и расчет фитотоксического эффекта по ним показал, что аналогично бактериям-нефтедеструкторам, препарат гуминовых кислот незначительно снижает токсичность почвы в зависимости от содержания загрязнителя (рис. 6).

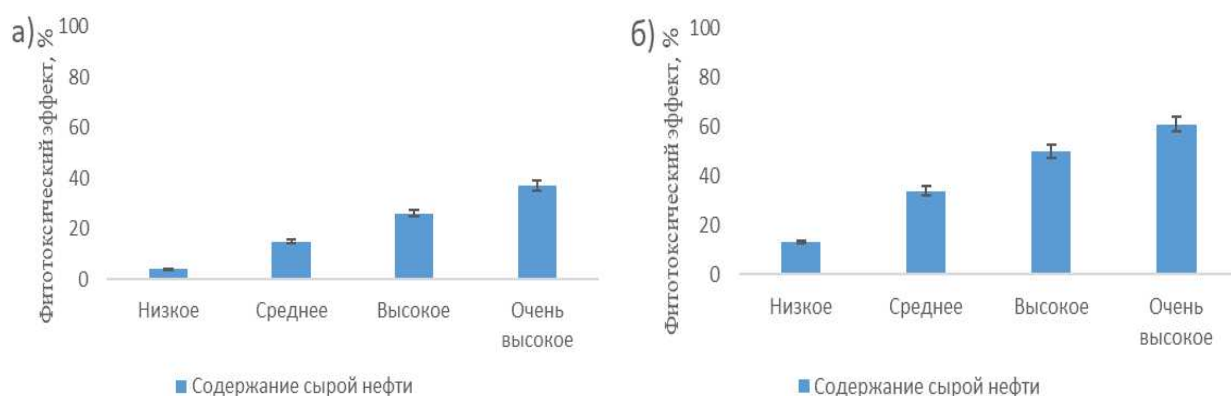


Рис. 6. Фитотоксический эффект, оцениваемый по морфометрическим характеристикам семян кресс-салата в присутствии препарата гуминовых кислот: а – по длине корней; б – по длине гипокотыля

Выводы. В ходе исследования методом биотестирования установлено, что при обработке модельных субстратов, содержащих углеводороды нефти, раствором гуминовых кислот отмечается стимуляция посевных качеств тест-культуры – кресс-салата: показатели всхожести и энергии прорастания семян превышают контроль на 6–7%, а также снижается фитотоксичность почвы (аналогично экспериментам с использованием бактерий-нефтедеструкторов). В присутствии ГК при минимальном содержании нефтепродуктов наблюда-

ется минимальный фитотоксический эффект (4%), в присутствии бактерий-нефтедеструкторов при низких содержаниях нефтепродуктов наблюдается незначительный фитотоксический эффект (6%).

Статья подготовлена в рамках государственного задания по теме: «Иммобилизация тяжелых металлов продуктами взаимодействий слоистых силикатов с почвенным органическим веществом и микроорганизмами» (Средства дополнительного соглашения № 073-03-2023-030/2 от 14.02.2023 к Соглашению о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) 073-00030-23-02 от 13.02.23).

Библиографический список

1. Чупахина Г. Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений: практикум. Калининград : Калининградский гос. ун-т, 2000. 58 с.

2. Degradation of oil and petroleum products in water by bioorganic compositions based on humic acids / M. M. Gertsen, L. V. Perelomov, V. A. Arlyapov, Y. M. Atroshchenko // *Energies*. 2023. Vol. 16. No. 14. P. 5320. doi: 10.3390/en16145320

3. Биопрепарат для очистки почв от загрязнений нефтью и нефтепродуктами, способ его получения и применения / А. Е. Филонов, И. А. Кошелева, В. А. Самойленко, А. Н. Шкидченко, И. А. Нечаева, И. Ф. Пунтус, А. Б. Гафаров, Т. В. Якшина, А. М. Борнин, К. В. Петриков // Патент RU2378060C2. 2010.

4. Влияние пониженной температуры на биодеградацию гексадекана бактериями-нефтедеструкторами *Rhodococcus* sp. X5, продуцирующими гликолипидные биологические поверхностно-активные вещества / Т. М. Лыонг, И. А. Нечаева, О. Н. Понаморева, В. А. Арляпов // *Биотехнология*. 2017. Т. 33. № 6. С. 49–56.

5. Структура и физико-химические свойства гликолипидных биосурфактантов, продуцируемых бактериями-нефтедеструкторами *Rhodococcus* sp. X5 / Т. М. Лыонг, И. А. Нечаева, О. Н. Понаморева, А. Е. Филонов // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2017. Т. 7. № 2 (21). С. 72–79.

6. Structural description of humic substances from subtropical coastal environments using elemental analysis, FT-IR and ¹³C-solid state NMR data / M. M. D. Sierra, M. Giovanela, E. Parlanti, V. I. Esteves // *Journal of Coastal Research*. 2005. SI(42). P. 370–382.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА ЩЕЛОЧНЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВАХ

**Н. В. Сырчина, Т. И. Кутявина, Г. В. Комоско,
В. Г. Комоско, Т. А. Скуднова, М. А. Леушина**
*Вятский государственный университет,
nvms1956@mail.ru, usr12097@vyatsu.ru, komosko@m-b.ru,
komoskovg@mail.ru, tanya.skudnova@yandex.ru, wion24@mail.ru*

В результате экспериментальных исследований установлено, что внесение в щелочную засоленную почву штаммов *Bacillus subtilis* BS2017 В-13389 и *Bacillus megatherium* var. *Phosphaticum* RCAM03190 на фоне органических удобрений, содержащих элементарную серу, фосфоритную

муку и навоз крупного рогатого скота, способствует повышению подвижности фосфора до 65%.

Ключевые слова: щелочные почвы, фосфорные удобрения, сера, фосфатмобилизующие бактерии, органоминеральные удобрения.

Фосфор входит в число важнейших элементов минерального питания растений. От содержания биодоступных (подвижных) соединений этого элемента в почвах зависит урожайность и качество урожая выращиваемых культур. Наиболее низкая подвижность фосфора характерна для щелочных почв, в кислых почвах его подвижность увеличивается [1]. Повышению подвижности фосфора (P) в щелочных почвах способствует прием кислотания, направленный на снижение рН почвенного раствора. Для кислотания обычно применяют гидролитически кислые соли, гипс, кислоты или серу. К преимуществам серы (S^0) можно отнести высокую концентрацию действующего вещества (до 100%), низкую стоимость, нетоксичность, отсутствие балластных компонентов [2–4].

Большое влияние на биодоступность фосфора оказывает почвенная микробиота, способствующая переводу малорастворимых минеральных и органических соединений фосфора в доступные для растений формы. Микробиологическая солубилизация фосфора в основном связана с такими процессами, как продуцирование микроорганизмами (МО) различных кислот, повышающих растворимость минеральных фосфатов, а также ферментов фосфатаз, принимающих участие в минерализации органических соединений P.

Выраженные фосфатмобилизующие свойства проявляют определенные штаммы бактерий *Bacillus megatherium* и *B. subtilis*, находящие все более широкое применение в практике современного земледелия. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о том, что за счет включения ценных штаммов МО в состав удобрений можно существенно повысить достигаемый агрохимический эффект и улучшить экологические характеристики обрабатываемых земель [5]. Следует отметить, что последствия инокуляции споровых бактерий в почву изучены пока недостаточно. Особенно мало сведений о результатах инокуляции соответствующих МО в засоленные почвы.

Цель настоящей работы состояла в оценке возможности и целесообразности использования штаммов *B. megatherium* и *B. subtilis* для повышения эффективности органоминеральных удобрений на основе фосфоритной муки и элементарной серы, вносимых в щелочную засоленную почву.

Для проведения исследований использовали образцы почвы со следующими характеристиками: рН фильтрованной водной вытяжки (1:5) = 8,7; удельная электропроводность (УЭП) фильтрованной водной вытяжки (1:5) = 273 мкСм/см; содержание ионов CO_3^{2-} – 0,1 мг-экв/100г; содержание ионов HCO_3^- – 0,75 мг-экв/100г.

Вносимое в почву органоминеральное удобрение (SP-ОМУ) представляло собой смесь фосфоритной муки (содержание P_2O_5 17%), тонкомолотой

серы и сухого навоза крупного рогатого скота (КРС) в массовом соотношении компонентов 1:1:1.

В качестве фосфатмобилизирующих бактерий были выбраны штаммы *Bacillus subtilis* BS2017 В-13389 и *B. megatherium* var. *Phosphaticum* RCAM03190. Выбор МО обусловлен активным использованием бактерий *B. subtilis* и *B. megatherium* в агрохимии в качестве компонентов биоудобрений, повышающих плодородие и супрессивность почв, а также оказывающих положительное влияние на развитие растений.

Микроорганизмы вносили в виде водных суспензий, приготовленных из лиофилизированных культур. Суспензии МО и SP-ОМУ перемешивали с почвой, смесь загружали в пластиковые контейнеры и увлажняли дистиллированной водой до влажности $65 \pm 5\%$. Контейнеры с почвой на протяжении всего эксперимента находились в лабораторном помещении при температуре 20 ± 2 °С в условиях естественного освещения.

Варианты эксперимента:

- 1) контроль (почва без добавок),
- 2) почва + SP-ОМУ (3 г/кг),
- 3) почва + SP-ОМУ (3 г/кг) + *B. subtilis* ($1,6 \cdot 10^5$ КОЕ/г почвы),
- 4) почва + SP-ОМУ (3 г/кг) + *B. megatherium* ($2,0 \cdot 10^4$ КОЕ/г почвы),
- 5) почва + SP-ОМУ (3 г/кг) + (*B. subtilis* + *B. megatherium*) ($2,8 \cdot 10^5$ КОЕ/г почвы),
- 6) почва + SP-ОМУ (3 г/кг) + *B. megatherium* ($2,7 \cdot 10^3$ КОЕ/г почвы).

Общую численность МО, внесенных в почву разных вариантов эксперимента, определяли методом посева на плотную питательную среду. Пробы для микробиологического анализа отбирали сразу после внесения добавок в почву.

Содержание фосфат-ионов в водной вытяжке из почвы (1:5) определяли фотометрическим методом по ПНД Ф 14.1:2:4.248-07. Для проведения измерений использовали спектрофотометр ПЭ-5300ВИ. Приготовление водных вытяжек и измерение водородного показателя (рН) и удельной электропроводности (УЭП) контрольных и экспериментальных образцов почвы проводили согласно ГОСТ 26423-85.

Отбор и анализ проб почвы для оценки результатов эксперимента проводили через 17 суток после внесения добавок в почву. Все исследования выполняли в трех повторностях, статистическую обработку результатов выполняли стандартными методами с использованием встроенного пакета программ Microsoft Excel.

Данные о влиянии внесенных добавок на свойства почвы приведены в таблице.

Влияние различных добавок на свойства почвы

Вариант	Показатели		
	содержание PO_4^{3-} , мг/дм ³	pH, ед. pH	УЭП, мкСм/см
1 (контроль)	0,18±0,03	8,7±0,1	268±24
2	0,24±0,04	7,6±0,1	520±48
3	0,31±0,05	7,6±0,2	673±59
4	0,31±0,05	7,5±0,1	682±62
5	0,30±0,05	7,4±0,1	649±68
6	0,40±0,06	7,5±0,2	672±52

Примечание: полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия между контрольным и экспериментальными вариантами ($P > 0,95$).

Согласно полученным результатам, внесение в почву штаммов МО на фоне органоминеральных удобрений привело к статистически значимому повышению содержания фосфора в водной вытяжке из почвы по сравнению с контролем. Максимальный эффект обеспечило внесение штамма *B. megatherium* в более низкой дозировке (вариант 6), минимальный – внесение композиции *B. subtilis* и *B. megatherium* (вариант 5). Статистически значимых различий между вариантами с добавками МО (варианты 3–6) не выявлено. Снижение (на уровне тенденции) накопления фосфатов в варианте 5 (самая высокая добавка МО) по сравнению с вариантами 3 и 4 может быть обусловлено антагонизмом между вносимыми штаммами МО, проявляющими выраженные антимикробные свойства, и сероокисляющей микробиотой.

Повышение подвижности фосфора в вариантах 2–6 происходило на фоне снижения щелочности и роста электропроводности водной вытяжки. Снижение щелочности почвы обусловлено подкисляющим действием образующейся при окислении S^0 серной кислоты. Рост электропроводности связан с вытеснением солей из твердой фазы в раствор за счет снижения pH.

Наиболее значительный рост УЭП отмечен в вариантах с добавкой МО (варианты 3–6). Различия между вариантом 2 (без добавок МО) и вариантами 3–6 статистически значимые.

Микробиологические исследования показали, что количество *B. subtilis* и *B. megatherium* в почве с добавками SP-ОМУ за 17 суток увеличилось на 2 порядка, то есть почвы соответствующего состава не оказывают выраженного угнетающего воздействия на внесенные штаммы МО.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что внесение культур МО в почву на фоне SP-ОМУ приводит к статистически значимому повышению подвижности фосфора (до 65%) и увеличению УЭП по сравнению с SP-ОМУ без микробиологических добавок. Наблюдаемое увеличение УЭП имеет существенное практическое значение, поскольку вытеснение солей из твердой фазы в раствор облегчает технологию их удаления из почвы методом промывки, а повышение подвижности фосфора улучшает минеральное питание растений и почвенной микробиоты [6].

Применение штаммов *Bacillus subtilis* BS2017 В-13389 и *Bacillus megatherium* var. *Phosphaticum* RCAM03190 на щелочных засоленных почвах на фоне SP-ОМУ перспективно и целесообразно.

Библиографический список

1. Чертко Н. К., Чертко Э. Н. Геохимия и экология химических элементов : справочное пособие. Мн. : Издательский центр БГУ, 2008. 140 с.
2. Состав и технология производства серного удобрения с активированным торфом и глауконитовым эфелем / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 134–141.
3. Оптимизация состава удобрений на основе молотых фосфоритов / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60. № 12. С. 133–139.
4. Сырчина Н. В., Соловьева Н. А., Кожевникова А. С. Применение молотой серы в качестве удобрения // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Кн. 1. Киров : Вятский государственный университет, 2017. С. 148–151.
5. Производство биоорганоминеральных удобрений как направление реализации безотходных технологий в свиноводстве / А. В. Сазанов, Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, В. А. Козвонин // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 85–90.
6. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Влияние хвостов обогащения фосфоритов, используемых в качестве удобрения, на почвенные альгоцианобактериальные сообщества // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 174–180.

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ЗАКАЗНИКА «КАМЕННАЯ СТЕПЬ» КАК ИНДИКАТОР НА ДЛИТЕЛЬНУЮ АГРОГЕННУЮ НАГРУЗКУ

Л. Д. Стахурлова

Воронежский государственный университет, stakhurlova@rambler.ru

На основании исследования ферментативной активности черноземных почв «Каменной степи» выявлены наиболее информативные параметры, указывающие на длительную агрогенную нагрузку. Ими являются: снижение активности уреазы, инвертазы, скорости разложения клетчатки.

Ключевые слова: заказник «Каменная степь», черноземные почвы, гумус, распашка, ферменты, протеаза, уреазы, инвертаза, фосфатаза, целлюлаза.

Для оценки экологического состояния почвенного покрова в качестве биоиндикаторов окружающей среды предлагают использовать видовой состав микромицетов, активность ферментов и фитотоксичность [3]. Целью настоящих исследований было выявление наиболее информативных параметров биохимической активности почвы в условиях различных биоценозов.

Объект исследования – чернозёмные тяжелосуглинистые почвы на карбонатных суглинках и глинах под различными биоценозами (пашня 1892 и 1992 гг. использования, залежь, лесополоса). Почвенные образцы отбирали с глубин 0–20; 20–40 и 40–60 см. Основные показатели плодородия черноземных почв определяли общепринятыми методами [1]. Активность почвенных ферментов определяли методами Д. Г. Звягинцева и Ф. Х. Хазиева [2,4].

Почвы Каменной степи характеризуются высоким потенциальным плодородием. В верхнем 0–20 см слое залежи содержалось более 8,5% гумуса (табл. 1), сумма обменных оснований 50 и более мг-экв/100 г почвы, актуальная реакция изменяется от нейтральной до слабощелочной. Распашка почв вызывает существенное преобразование естественных факторов почвообразования за счет замены постоянной степной травянистой растительности на ежегодно сменяемые культуры агроценозов и проведения разнообразных механических обработок пахотного слоя, которые способствуют развитию процессов дегумификации. По сравнению с почвой залежи, в пашне, в соответствии со сроком её использования количество гумуса закономерно снижается в 1,2 и 1,4 раза и в абсолютных величинах составляет 7,4 и 6,1% соответственно (табл. 1). Снижение содержания органического вещества специфической природы не могло не отразиться на биохимических процессах.

Исследования биохимической активности черноземных почв показали высокую степень метаболизма органических соединений, поступающих в почву залежи (табл. 2). Активность протеазы в верхнем 0–20 см слое превышала 1,5 мг тирозина / 1 почвы. Под лесополосой и пашней разного срока использования отмечено заметное снижение каталитических процессов азотсодержащих компонентов, в среднем в 1,5 раза. Наличие доступного энергетического субстрата сохраняет повышенную активность протеазы до глубины 40 см, причем на всех исследуемых вариантах. В тоже время, высокий уровень активности протеазы в почвах залежного участка может быть связан с достаточным количеством отмершего растительного и животного материала, который подвергается минерализации при участии ферментов. В почвах пашни могут подвергаться минерализации органические соединения специфической природы, что ослабляет процессы гумификации и приводит к снижению содержания гумуса.

Таблица 1

Содержание гумуса в черноземных почвах различных биоценозов, %

Глубина, см	Залежь	Лесополоса	Пашня, 1992 г.	Пашня, 1892 г.
0–20	8,6	8,2	7,4	6,1
20–40	5,8	6,4	4,2	3,8
40–60	3,8	4,2	1,5	1,0

Процессы протеолиза и аммонификации осуществляются последовательно. Активность протеаз и уреаз должна быть взаимосвязанной. Наибольшая активность уреазы выявлена в почвах залежного участка. В почвах лесополосы активность фермента в среднем снижается на 28,6% в слое 0–20 см (табл. 2). Активность уреазы в пашне определяется сроком ее использования.

Так, распашка почвы с 1892 г. способствовала снижению активности уреазы в среднем на 80% по сравнению с залежным участком, что не способствует накоплению доступного для растений минерального азота в почве.

Таблица 2

Активность ферментов азотного обмена в черноземных почвах

Фермент	Глубина, см	Залежь	Лесополоса	Пашня, 1992 г.	Пашня, 1892 г.
Протеаза мг тироз. /г почвы	0–20	1,55	0,99	1,03	0,91
	20–40	0,87	0,58	0,55	0,64
	40–60	0,20	0,13	0,18	0,19
Уреаза мг NH ₃ /г почвы	0–20	0,63	0,45	0,55	0,34
	20–40	0,43	0,35	0,36	0,30
	40–60	0,16	0,18	0,12	0,14

Из всех органических соединений в природе наибольшее распространение имеет целлюлоза. Активность разложения целлюлозы, поступающей в почву, зависит от численности, состава и активности микрофлоры, и регулируется, главным образом, составом растительных остатков, содержанием азота и влажностью почвы. В связи с этим, активность целлюлаз целесообразно определять в верхнем 0–20 см слое почвы, отличающимся от нижележащих значительным количеством растительных остатков. Почвы Каменной степи характеризуются средним уровнем разложения целлюлозы (табл. 3). Согласно оценочной шкале [2], степень её разложения немного превышает 30%. В почвах залежи и лесополосы активность целлюлаз была на одном уровне. По всей видимости, состав растительного опада не оказал влияния на скорость разложения клетчатки. Значительно большее влияние оказало содержание гумуса, общего азота и степень увлажнения.

Таблица 3

Скорость разложения клетчатки в почвах различных биоценозов, %

Глубина, см	Залежь	Лесополоса	Пашня, 1992 г.	Пашня, 1892 г.
0–20	32,4	32,8	19,8	18,8

Распашка черноземных почв способствовала заметному уменьшению целлюлозоразлагающей активности, что объясняется наличием небольшого количества энергетического субстрата в окультуренных почвах. Скорость разложения клетчатки в почвах пашни снижается до слабой степени и в среднем падает в 1,8 раза.

К классу гидролаз, осуществляющих реакции гидролиза разнообразных сложных органических соединений, относится инвертаза. Этот фермент широко распространен во всех организмах. Поэтому на инвертазной активности отражаются почвенные и климатические условия, а её уровень может служить их характеристикой [4]. Черноземные почвы характеризуются оптимальной инвертазной активностью верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта, что свидетельствует о хороших почвенных условиях для роста и развития растений, микроорганизмов и мезофауны. В целом, активность инвертазы существенно не различалась по вариантам наблюдений, за исключением ва-

рианта с почвами, подвергшимися длительной распашке (с 1892 г.) (табл. 4). Активность фермента снизилась в среднем в 1,7 раза по сравнению с залежным участком.

Таблица 4

Активность инвертаз черноземных почв в различных биоценозах

Фермент	Глубина, см	Залежь	Лесополоса	Пашня, 1992 г.	Пашня, 1892 г.
Инвертаза, мг глюкозы/г почвы	0–20	11,06	9,45	10,64	6,42
	20–40	9,30	8,38	9,34	5,40
	40–60	7,85	6,87	7,93	4,35

Активность фосфогидролитических ферментов характеризует интенсивность биохимических процессов мобилизации органического фосфора в почвах.

Таблица 5

Активность фосфатаз черноземных почв в различных биоценозах

Фермент	Глубина, см	Залежь	Лесополоса	Пашня, 1992 г.	Пашня, 1892 г.
Фосфатаза, мг фенолфта- леина /г почвы	0–20	1,60	1,20	1,06	0,90
	20–40	1,09	0,83	0,79	0,69
	40–60	0,64	0,42	0,42	0,29

В почвах залежи активные фосфогидролитические процессы охватывают 0–40 см слой почвы. Под лесополосой и пашней из-за недостаточного поступления фосфорорганических соединений с растительным опадом активность фосфатазы снижается в слое 0 – 20 см в среднем в 1,3 раза. Наибольшее влияние на активность фермента оказало длительное окультуривание черноземных почв, интенсивность фосфогидролитических процессов снизилась в 1,7 раза (табл. 5).

Таким образом, ферментативная активность зависит от различных экологических факторов и почвенно-климатических условий. Неравномерность распределения показателей биохимической активности почв обуславливается также гетерогенностью химических компонентов и неравномерностью их пространственного распределения. Наиболее «чувствительными» ферментами, заметно снижающими свою активность в почвах Каменной степи в условиях длительной агрогенной нагрузки, были уреазы, целлюлазы и инвертазы.

Таким образом, в качестве легко определяемых параметров биоиндикации старопашотных почв предложены активность ферментов уреазы, целлюлазы, инвертазы.

Библиографический список

1. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М. : МГУ, 1998. 272 с.
2. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М. : МГУ, 1991. 304 с.
3. Стахурлова Л. Д., Свистова И. Д., Щеглов Д. И. Биологическая активность как индикатор плодородия черноземов в различных биоценозах // Почвоведение. 2007. № 6. С. 769–774.
4. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М. : Изд-во Наука, 2005. 334 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ КРИОЛИТОЗОНЫ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВОМ (В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА)

О. Ю. Семина

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
sem_olga02@mail.ru*

Изучены изменения активности каталазы и инвертазы при загрязнении почв дизельным топливом в условиях модельного эксперимента. Показано, что каталазная активность значительно снизилась после загрязнения дизельным топливом. Противоположные результаты были получены для инвертазы: наблюдалось увеличение активности этого фермента, что может быть связано с высоким содержанием водорастворимых органических соединений углерода.

Ключевые слова: нефтепродукты, почвы криолитозоны, ферментативная активность, нефтезагрязнение.

Территории криолитозоны играют важнейшую роль в экологическом равновесии Северного полушария, а также отвечают за глобальные атмосферные процессы [1]. Одним из наиболее богатых регионов Сибири по запасам полезных ископаемых является север Красноярского края. Разработка и добыча полезных ископаемых наносит ущерб объектам окружающей среды. Многие авторы отмечают, что любое антропогенное воздействие на природные комплексы криолитозоны (развитие и расширение добычи углеводородов, вырубка лесов, «протаивание» слоя многолетнемерзлых пород, пожары) практически полностью исключает возможность возобновления экосистемы, особенно почвенного и растительного покрова [2]. Одним из примеров антропогенного воздействия (катастрофы, связанной с разливом дизельного топлива), является разлив, произошедший 29 мая 2020 года в районе Кайеркан г. Норильска, где произошла разгерметизация бака резервного дизельного топлива с последующим возгоранием. Разлив привел к загрязнению не только водных объектов, но и почвенного покрова (площадью порядка 180 тыс. м²) [3].

Цель работы – изучение активности каталазы и инвертазы в почвах с разным содержанием лабильного органического вещества при загрязнении их дизельным топливом.

При попадании нефтепродуктов в почву происходят коренные изменения ее свойств. Например, увеличивается гидрофобность почвы, и она утрачивает способность удерживать влагу. Это приводит к нарушению водного и воздушного режима почвы, которое оказывает отрицательное воздействие на ферментативную и биологическую активность.

Воздействие нефти и нефтепродуктов на микроорганизмы может быть как прямым, так и косвенным. Косвенное влияние проявляется в ухудшении доступности элементов минерального питания, изменении структуры и реакции среды почв. Прямое влияние заключается в снижении общей численности и биомассы микроорганизмов. С одной стороны, при высоких концентрациях нефти происходит незначительное увеличение биоразнообразия почвенных бактерий, с другой – начинается доминирование меньшего числа таксонов [4].

Катализаторами, отвечающими за разложение нефти и нефтепродуктов, являются ферменты, вырабатываемые почвенными микроорганизмами. Каталаза – фермент, относящийся к классу оксидоредуктаз. Каталаза является катализатором реакции разложения перекиси водорода на воду и молекулярный кислород [5]. Загрязнение почвы нефтью и нефтепродуктами приводит к ингибированию активности каталазы, поскольку формируются анаэробные условия и появляются фенольные соединения [6]. Кроме того, снижение каталазной активности может быть обусловлено наличием серы и меркаптанов в составе дизельного топлива, которые ингибируют этот фермент [7].

Инвертаза или β -фруктофуранозидаза – фермент класса гидролаз, отвечающий за гидролиз сахарозы на глюкозу и фруктозу. Было отмечено, что загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами снижает активность инвертазы [8]. Низкие концентрации нефти вызывают незначительное уменьшение активности инвертазы, а высокие дозы нефтяного загрязнения снижают работу фермента на 11,4% [9].

Таким образом, ферментативная активность интенсивно реагирует на загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами. Компоненты нефти оказывают различное влияние на активность ферментов в почвах, снижая, или, в некоторых случаях, повышая ее.

Объектами исследования являются пробы почв ненарушенного строения (монолиты), которые были отобраны в окрестностях г. Норильска летом 2021 г. Почвы – подбур оподзоленный и аллювиальная дерновая глеевая типичная. Пробы были отобраны в колонки высотой 60 см и диаметром 12 см.

Масса монолита составила примерно 4500 г. Почвы в ходе модельного эксперимента поддерживались при естественной влажности гравиметрически, при необходимости с поверхности опрыскивались водой.

На поверхность части монолитов было внесено 100 г дизельного топлива (ДТ), после чего монолиты находились в климатической камере 1 месяц при температуре +15 °С (средняя температура июля в г. Норильске). По окончании модельного эксперимента монолиты были разобраны на горизонты и высушены.

В почвенных пробах было проведено определение следующих показателей:

– содержание нефтепродуктов (НП) – по «Методике выполнения измерений массовой концентрации НП в пробах почв гравиметрическим методом» [10];

- активность каталазы – газометрически по Звягинцеву [1];
- активность инвертазы (β -фруктофуранозидаза) была определена учётом восстанавливающих сахаров по Бертрану [11].

Распределение НП по профилям исследованных почв представлено в таблице 1.

Таблица 1

Распределение нефтепродуктов (мг/кг) в профилях почв

Горизонт, глубина, см	Содержание НП, мг/кг
Подбур оподзоленный (контроль)	
О (0–5)	380
АО1 (5–8)	338
АО2 (8–12)	589
ВНFe (12–32)	507
ВНF (32–41)	153
BC (41–...)	100
Подбур оподзоленный (ДТ)	
О (0–5)	106624
АО1 (5–8)	128448
АО2 (8–12)	100584
ВНFe (12–32)	1841
ВНF (32–41)	523
BC (41–...)	360
Аллювиальная дерновая глеевая (контроль)	
О (0–5)	1914
АО1 (5–10)	985
АО2 (10–20)	536
Ayg (20–27)	114
G (27–34)	330
CG (34–...)	286
Аллювиальная дерновая глеевая (ДТ)	
О (0–5)	215088
АО1 (5–10)	87185
АО2 (10–20)	3945
Ayg (20–27)	3722
G (27–34)	1866
CG (34–...)	1147

В подбуре оподзоленном в контрольном варианте максимальное содержание НП характерно для средних горизонтов (АО2, ВНFe), а при загрязнении ДТ максимумы их содержания наблюдаются в трех верхних горизонтах (О, АО1, АО2). В аллювиальной дерновой глеевой почве (в контрольном варианте и при загрязнении ДТ) высокое содержание НП наблюдается в верхнем горизонте и снижается с глубиной.

В таблице 2 представлена активность каталазы и инвертазы в исследуемых почвах.

Таблица 2

Ферментативная активность верхних горизонтов

Горизонт, глубина, см	Каталаза ($\text{см}^3/\text{г}\cdot\text{мин}^{-1}$)	Инвертаза ($\text{мг глюкозы}/\text{г}\cdot\text{сут}^{-1}$)
Подбур оподзоленный (контроль)		
О (0–5)	2,00	12,75
АО1 (5–8)	0,68	14,06
АО2 (8–12)	0,64	11,75
Подбур оподзоленный (ДТ)		
О (0–5)	1,40	17,89
АО1 (5–8)	0,67	11,89
АО2 (8–12)	0,26	5,14
Аллювиальная дерновая глеевая (контроль)		
О (0–5)	1,42	44,33
АО1 (5–10)	10,75	51,67
АО2 (10–20)	2,64	52,46
Аллювиальная дерновая глеевая (ДТ)		
О (0–5)	4,03	44,11
АО1 (5–10)	6,80	53,56
АО2 (10–20)	1,64	29,09

При загрязнении ДТ происходит угнетение активности каталазы в подбуре оподзоленном. Контрольный вариант характеризуется «очень бедной» и «бедной» активностью этого фермента. В варианте с загрязнением ДТ мы наблюдаем аналогичные результаты. В аллювиальной дерновой глеевой почве тоже произошло снижение активности каталазы, однако в АО1 горизонте отмечается высокая активность каталазы. При загрязнении ДТ активность каталазы в горизонте АО1 становится средней, снижаясь на градацию.

Данные по активности инвертазы неоднозначны. В подбуре оподзоленном при загрязнении ДТ происходит снижение активности инвертазы по мере увеличения содержания ДТ. В случае аллювиальной дерновой глеевой почвы сначала происходит снижение активности фермента (при максимальном количестве НП), а после активность инвертазы возрастает со снижением содержания НП. На этой же глубине возрастает содержание водноэкстрагируемого углерода, фракции, в состав которой преимущественно входят углеводы.

Выводы. Даже спустя год после разлива ДТ отмечается повышенное содержание НП в контрольном варианте аллювиальной дерновой глеевой почвы.

Для подбура оподзоленного характерна низкая ферментативная активность по каталазе, которая колеблется от 0,5 до 2 $\text{см}^3/\text{г}\cdot\text{мин}^{-1}$, снижаясь в горизонтах с более высоким содержанием НП. Для аллювиальной дерновой глеевой почвы отмечена высокая обогащенность каталазой в горизонте АО1, которая после загрязнения ДТ снижается на градацию.

В подбуре при загрязнении ДТ снижается активность инвертазы по мере увеличения содержания ДТ. В аллювиальной дерновой глеевой почве активность инвертазы падает в верхнем горизонте с максимальным содержанием

ем НП. Возрастание активности инвертазы в горизонте А01 связано со снижением содержания НП и высоким содержанием водорастворимой фракции органического вещества.

Библиографический список

1. Техногенное воздействие на окружающую среду в Российской Арктике на примере Норильского промышленного района / Н. В. Юркевич, И. Н. Ельцов, В. Н. Гуреев, Н. А. Мазов, А. В. Еделев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 12. С. 230–249.

2. Севастьянов Д. В., Исаченко Т. Е., Гук Е. Н. Норильский регион: от природной специфики к практике освоения // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Вып. 3. 2014. С. 82–94.

3. Сазонов А. Д., Комаров Р. С., Передера О. С. Разлив нефтепродуктов в Норильске 29 мая 2020 года: предполагаемые причины и возможные экологические последствия // Экологические исследования и экологический мониторинг. 2020. С. 173–177.

4. Влияние нефтяного загрязнения на бактерии дерново-подзолистой почвы / А. В. Назаров, Л. Н. Ананьина, О. В. Ястребова., Е. Г. Плотникова // Почвоведение. 2010. № 12. С. 1489–1493.

5. Костерина В. В. Каталаза как представитель биологических катализаторов и ее активность в разных сортах картофеля // Вестник Совета молодых учёных и специалистов Челябинской области. 2016. Т. 1. № 4 (15). С. 31–34.

6. Использование показателей ферментативной активности для оценки почв, загрязнённых нефтяными углеводородами / А. С. Григориади, А. Р. Гареева, Н. А. Киреева, Е. И. Новоселова // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове : сб. материалов IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием. (1–5 сентября 2010 г.) / под ред. С. П. Кулижского. Томск : ТМЛ-Пресс, 2010. Т. 3. С. 52–55.

7. Середина В. П. Оценка техногенного воздействия нефти на свойства почв Западной Сибири // Известия Тюменского государственного университета. 2003. Т. 306. № 2. С. 34–37.

8. Gamzaeva R. S., Rodicheva T. V. Influence of oil pollution on the activity of hydrolytic enzymes of sod-podzolic soil against the background of the use of biological products // IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 979. P. 1–6.

9. Сергатенко С. Н., Федорова И. Л., Игнатова Т. Д. Влияние нефтяного загрязнения на активность почвенных ферментов классов оксидоредуктаз и гидролаз // Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии. 2022. № 3. С. 83–88.

10. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли НП в почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. М., 1998. Издание 2005. 18 с.

11. Белов А. А., Чепцов В. С., Лысак Л. В. Методы идентификации почвенных микроорганизмов. М. : МАКС Пресс, 2020. 196 с.

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ДЫХАНИЯ ПОЧВ ПРИ ПОПАДАНИИ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

М. П. Шабалина, Д. Р. Юдина, Э. Х. Сакаева

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
sabalina.marya@gmail.com, dasch.iudina2012@yandex.ru, elya2182@mail.ru*

Рассмотрено влияние углеводородов нефти и смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на процессы почвенного дыхания. Выявлены закономерности изменения выделения углекислого газа в зависимости от длительности и

от концентрации загрязнения. Показана зависимость интенсивности почвенного дыхания от содержания нефти и смазочно-охлаждающих жидкостей.

Ключевые слова: почва, интенсивность дыхания, загрязнение, нефть, смазочно-охлаждающие жидкости.

Процессы добычи, транспортировки и переработки нефти представляют серьезную опасность для окружающей среды в связи с большим количеством аварийных ситуаций, нарушаются большие площади земель. Аварийное поступление нефти и нефтепродуктов в почву приводит к изменениям ее физико-химических свойств и нарушениям жизнедеятельности почвенных биоценозов, она становится малопроницаемой для воздуха и влаги. В связи с этим требуется разработка рекультивационных мероприятий, направленных на восстановление плодородия почв, а также требуется понимание почвенных процессов, которые приводят к снижению концентрации загрязнения. Одним из процессов, показывающим изменение концентрации нефтезагрязнения, является почвенное дыхание.

Процесс выделения углекислого газа (CO_2) из почвы, именуемый, как почвенное дыхание, формируется дыханием корней, микробным разложением растительных остатков и органического вещества почвы [1]. Дыхание почвы представляет собой сложное, многофункциональное природное явление, проявляющееся в процессах газообмена между основными компонентами биосферы, почвообразования, трансформации геологических пород, диссипации энергии, накопленной в почвенном органическом веществе и биомассе почвообитающих организмов [2]. Показатель выделения углекислого газа позволяет оценить эффективность ремедиации загрязненных почв, а также оценить влияние различных факторов на данный процесс. К таким факторам относятся влажность, температура, наличие загрязнителей и содержание питательных веществ.

Целью данного исследования являлась оценка влияния и выявление закономерности влияния нефти и смазочно-охлаждающих жидкостей на интенсивность дыхания почв.

На данный момент были проведены экспериментальные исследования, для которых были взяты образцы дерново-подзолистой суглинистой почвы. В качестве нефтяных углеводородов использовалась нефть плотностью при $20\text{ }^\circ\text{C}$ – $874,6\text{ кг/м}^3$. Массовая доля воды – $0,14\%$, хлористых солей – $0,0023\%$, механических примесей – $0,0064\%$, балласта – $0,149\%$. В качестве СОЖ использовалось нефтяное минеральное масло плотностью при $20\text{ }^\circ\text{C}$ – $955,4\text{ кг/м}^3$. Массовая доля воды – $0,05\%$, хлористых солей – $0,12\%$. В подготовленные образцы почвы вносились загрязняющие вещества в концентрациях, представленных в таблице.

Концентрации загрязняющих веществ, внесенных в почву

Загрязняющие вещества	Концентрации загрязняющих веществ, г/кг				
	Нефть	1	10	25	50	100
СОЖ	10	30	50	100	

В качестве контроля использовалась чистая дерново-подзолистая суглинистая почва. Для оценки влияния длительности загрязнения на интенсивность выделения CO_2 исследования проводились при «свежем» загрязнении, через 7 дней и через два года.

Дыхание почв оценивалось как потребление кислорода, так как режим углекислоты почвенного воздуха более динамичен, чем кислорода, что связано с несколькими источниками ее поступления в газовую фазу и высокой растворимостью в водной среде [3].

Определение скорости выделения углекислого газа из почвы проводилось по методу Штатнова. Интенсивность дыхания выражали в $\text{мг CO}_2/\text{м}^3$ в ч. Расчет проводили по формуле:

$$D = \frac{(a - b) \cdot K}{S \cdot T}$$

где a – количество 0,1 н HCl , пошедшей на титрование щелочи при холостом определении, мл; b – количество 0,1 н HCl , пошедшей на титрование щелочи для опытных образцов, мл; K – коэффициент для перевода мл 0,1Н щелочи в мг CO_2 , равный 2,2; S – площадь изолируемой поверхности почвы, м^2 ; T – время экспозиции, ч [4].

На рисунках изображены результаты экспериментальных исследований интенсивности выделения углекислого газа загрязненной почвой для нефти (рис. 1) и для СОЖ (рис. 2) через неделю и через 24 месяца.

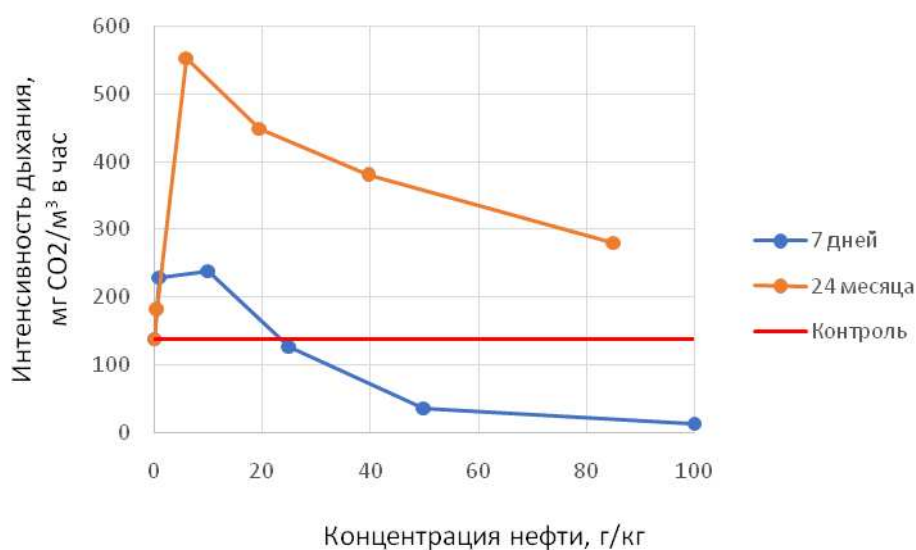


Рис. 1. Зависимость интенсивности выделения CO_2 от концентрации нефти через неделю и через 24 месяца

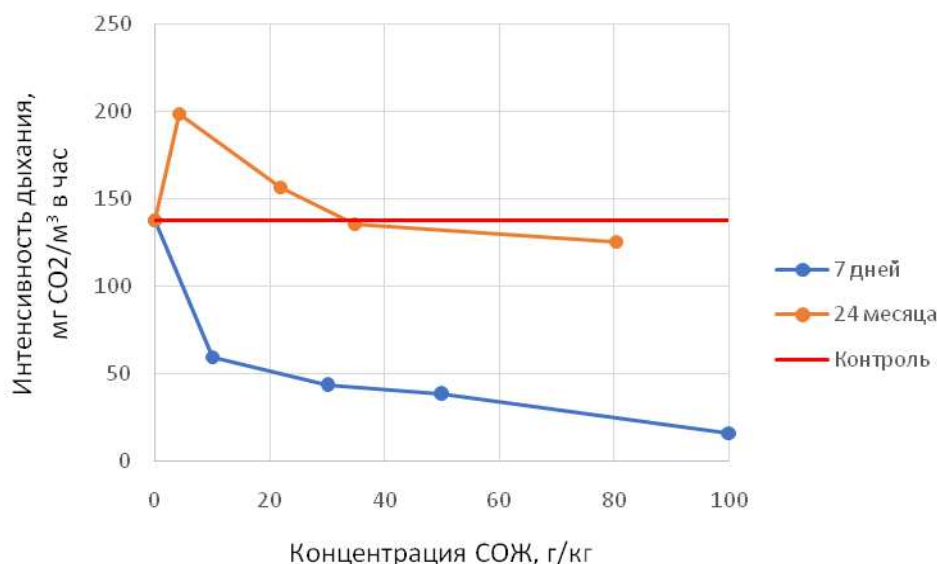


Рис. 2. Зависимость интенсивности выделения CO_2 от концентрации СОЖ через неделю и через 24 месяца

Результаты экспериментальных исследований позволяют сделать вывод, что при загрязнении почвы нефтью наблюдается увеличение скорости дыхания при низких концентрациях, но с увеличением концентрации загрязнителя интенсивность дыхания снижается. Максимальная интенсивность почвенного дыхания достигается при концентрации нефтезагрязнения от 5 до 10 г/кг.

Снижение интенсивности выделения углекислого газа на начальном этапе загрязнения обусловлено токсическим воздействием нефти и смазочно-охлаждающих жидкостей на микроорганизмы, в частности ароматическими углеводородами, обволакиванием СОЖ частиц почвы, ограничением доступа кислорода для микроорганизмов.

При длительном загрязнении и высоких начальных концентрациях нефти и СОЖ интенсивность почвенного дыхания значительно превышает показатель контрольной почвы, что говорит о высокой активности почвенной микрофлоры, и, следовательно, об интенсивном восстановлении почвы.

Таким образом, нефть и смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) оказывают негативное влияние на интенсивность дыхания почвы. Это может иметь серьезные последствия, так как почва обеспечивает ряд экосистемных функций. Проведенное исследование может служить основой для подбора условий биоремедиации при загрязнении почв нефтью и СОЖ.

Библиографический список

1. Национальный атлас почв Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/titul> (дата обращения: 15.10.23).
2. Наумов А. В. Дыхание почвы: Составляющие, экологические функции, географические закономерности : автореф. дис. д-р. биол наук: 03.00.27. Томск, 2004. 39 с.
3. Временные методические рекомендации по контролю загрязнения почв / под ред. С. Г. Малахова. М. : Гидрометеоздат, 1984. Ч. 2. 51 с.

4. Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах для земель лесного фонда Республики Татарстан / А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов, Р. Р. Шагидуллин, Д. В. Иванов, Т. В. Кузнецова, Л. К. Каримуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 20. С. 265–270.

ВЫДЕЛЕНИЕ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ ХВОЙНЫХ ЭКОСИСТЕМ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

*М. А. Кузнецов, А. Ф. Осипов
Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
kuznetsov_ma@ib.komisc.ru*

В статье представлены данные, позволяющие оценить вклад летних месяцев в сезонную динамику эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы старовозрастных хвойных сообществ средней тайги. Отмечено отсутствие различий в интенсивности выделения CO_2 между июлем и августом в ельнике и постепенный рост динамики дыхания в сосняке. Выявлена положительная корреляция с температурой почвы и отрицательная с влажностью почвы.

Ключевые слова: эмиссия CO_2 , ельник, сосняк, температура и влажность почвы

Почва является одновременно природным источником, стоком и резервуаром углерода. Диоксид углерода в почве образуется в результате микробной деструкции почвенного органического вещества, дыхания корней и почвенных беспозвоночных. Основные абиотические механизмы внутрпочвенного связывания CO_2 – это растворение, сорбция, выпадение карбонатов, заземление в микропорах. На эмиссию диоксида углерода из почвы оказывает влияние климат, тип леса и почвы. Общая эмиссия CO_2 изменчива и динамична, поэтому необходимы ее региональные исследования [1, 2].

Цель исследования – оценка эмиссии диоксида углерода с поверхности почвы в летние месяцы в среднетаежных сосняке сфагновом и ельнике разнотравно-черничном.

Объекты исследования: ельник разнотравно-черничный на типичной подзолистой почве и сосняк сфагновый на торфянисто-подзолисто-глеевой и иллювиально-железистой почве. Данные фитоценозы произрастают на тестовом полигоне «Ляльский», расположенном в подзоне средней тайги Республики Коми. Измерение потоков диоксида углерода с поверхности почвы проводили при помощи инфракрасного газового анализатора LICOR 8100 с почвенной камерой 20 см в течение летних месяцев 2023 г. Камера устанавливалась на стационарные пластиковые кольца площадью 318 см^2 в пятикратной повторности. Лесная подстилка сохранялась, надземные побеги растений срезались. Время измерения составляло 2 мин, время стабилизации (возврат со-

става воздуха к условиям, предшествующим измерению) – 2 мин. Смена циклов измерения осуществляется в автоматическом режиме и задается настройками прибора перед началом работы. Измерения проводились два раза в месяц, а общее количество определений скорости потока CO_2 достигло 240, которые распределены поровну между объектами мониторинга. Одновременно измерялись температура почвы (на глубине 10 см) и влажность почвы (в слое 0–5 см) датчиками, входящими в комплектацию прибора. Рассчитаны средние величины и ошибка средней. Для парных сравнений применялся t-критерий Стьюдента (p_t).

Эмиссия CO_2 с поверхности типичной подзолистой почвы ельника в июне изменялась от 1,5 до 5,3 гС/(м²сут) со средним значением $2,9 \pm 0,2$ гС/(м²сут). В июле скорость потока диоксида углерода варьировала от 3,5 до 9,6 гС/(м²сут), в августе – от 2,6 до 11,6 гС/(м²сут), а средние значения составили $5,2 \pm 0,3$ и $5,4 \pm 0,4$ гС/(м²сут), соответственно. Следует отметить отсутствие различий в интенсивности выделения CO_2 между июлем и августом ($p_t = 0,999$), тогда как в июне она была значимо ниже ($p_t < 0,001$). Для данных, полученных в летние месяцы, выявлена положительная, статистически достоверная взаимосвязь между эмиссией CO_2 с поверхности почвы и ее температурой на глубине 10 см ($R^2 = 0,28$, $p < 0,001$), тогда как корреляция с влажностью почвы в слое 0–5 см отрицательная ($R^2 = 0,09$, $p = 0,001$).

Динамика дыхания торфянисто-подзолисто-глеевой иллювиально-железистой почвы сосняка сфагнового с июня по август характеризовалась постепенным ростом от 2,8 до 6,8 гС/(м²сут). Максимальная среднемесячная скорость эмиссии отмечена в августе ($p_t < 0,05$). Коэффициенты вариации среднемесячных значений потока CO_2 изменялись от 23 до 52%, с более высокими величинами в августе. Взаимосвязь выделения диоксида углерода с поверхности почвы сосняка с ее температурой и влажностью статистически значима. Однако, корреляция с температурой почвы на глубине 10 см положительная ($R^2 = 0,47$, $p < 0,001$), а с влажностью в слое 0–5 см – отрицательная ($R^2 = 0,12$, $p < 0,001$).

В настоящее время продолжается мониторинг эмиссии CO_2 с поверхности почвы ельника и сосняка на модельном полигоне «Ляльский». Полученные результаты в дальнейшем послужат для оценки выделения CO_2 в атмосферу с поверхности почвы хвойных сообществ в течение бесснежного (май–октябрь) периода.

Работа выполнена в рамках реализации 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. Осипов А. Ф., Кузнецов М. А. Эмиссия диоксида углерода в лесных экосистемах хвойных лесов средней тайги // Углерод в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых природных территории Республики Коми. Сыктывкар, 2014. С. 79–93.
2. Temperature sensitivity of soil respiration in two temperate forest ecosystems: the synthesis of a 24-year continuous observation / I. Kurganova, V. Lopes de Gerenyu, D. Khoroshaev, T. Myakshina, D. Sapronov, V. Zhmurin // Forests. 2022. Vol. 13. P. 1374 . doi: 10.3390/f13091374

РАЗРАБОТКА ПРИБОРНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА БАЗЕ ARDUINO ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЗОТА, ФОСФОРА И КАЛИЯ В ПОЧВАХ И ПОЧВОГРУНТАХ

*А. В. Фролова¹, А. Ю. Тоцкая¹, А. В. Маршева¹,
О. Г. Радугина¹, Д. Б. Петренко^{1,2}*

¹ Государственный университет просвещения,

² ФГБУН Геологический институт РАН, *dbpetrenko@yandex.ru*

Данная статья посвящена разработке прототипа приборно-методического обеспечения на основе платформы Arduino для определения содержания азота, фосфора и калия в почвах и почвогрунтах. Использование современных технологий, таких как Arduino, позволяет значительно упростить процесс измерения и анализа химического состава почвы.

Ключевые слова: Arduino, элементы питания растений, почвогрунты, потенциометрия, фотометрия.

Качество почв и почвогрунтов, применяемых в сельском хозяйстве, садово-парковом комплексе и для ремедиации техногенно-нарушенных территорий в первую очередь определяется обеспеченностью их важнейшими элементами питания - азотом, фосфором и калием (NPK). Контроль содержания этих элементов в условиях крупных агропромышленных хозяйств проводится систематически с применением утвержденных в различных нормативных документах методик и специализированного приборного обеспечения [1]. Однако в условиях частных приусадебных хозяйств и учебных лабораторий существующие разработки профессионального уровня малоприменимы, поскольку сложны в реализации, требуют сравнительно высокой квалификации пользователя и применения дорогостоящего оборудования.

В этой связи весьма актуальной представляется разработка приборов и методик определения NPK, ориентированных на непрофессиональных пользователей. Для разработки приборного оснащения в рамках настоящей работы предлагается использование устройств на базе платформы Arduino, достоинствами которой является простота работы, низкая стоимость и возможность конструирования самых разнообразных устройств для решения конкретных задач. Что касается методического обеспечения, то для получения достовер-

ных результатов существует необходимость разработки простых адаптированных методик, не требующих использования опасных и дорогостоящих реактивов, базирующихся на общеизвестных апробированных методах, дающих заведомо достоверные результаты. Для определения фосфора, с нашей точки зрения, целесообразно использовать фотометрический метод, для нитратного азота и калия – потенциометрический.

Таким образом, целью данной работы является разработка приборно-методического обеспечения на базе платформы Arduino для определения содержания азота, фосфора и калия в почвах и почвогрунтах, а также его апробация на реальных образцах.

Для определения НРК предлагается использовать комбинированный прибор, позволяющий выполнять как фотометрические, так и ионометрические измерения, прототипом для которого являются разработанные нами ранее иономер и фотометр.

Для конструирования прибора была использована плата Arduino Nano, к которой подключены два типа датчиков. В качестве источника монохроматического излучения для фотометрических измерений использован светодиод с максимумом излучения при длине 690 нм, в качестве детектора - фотодиод. Для регистрации ЭДС при измерении электродных потенциалов использованы два Трета модуля – рН-метра. Схема разработанного прибора приведена на рисунке.

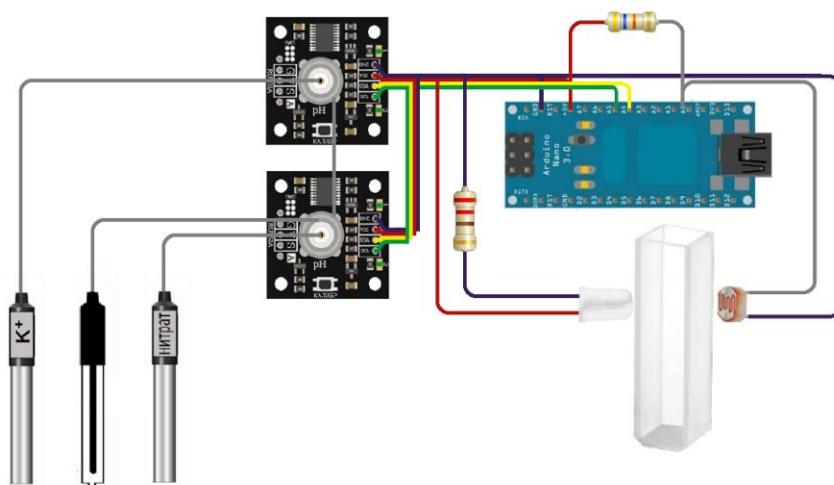


Рис. Схема прибора для определения азота, фосфора и калия в почвах

Управление модулем осуществляется по шине I2C. Для измерений использовали электродную систему, состоящую из нитрат-селективного электрода ЭЛИТ-021 или калий-селективного электрода ЭЛИТ-031 с общим хлорид-серебряным электродом сравнения ЭВЛ-1М-3.1-заг с загущенным электролитом. Для индикации показаний применен OLED-дисплей, что позволяет использовать прибор в полевых условиях без применения персонального компьютера. Корпус выполнен методом 3D печати из пластика PLA. Программа для обсчета результатов (скетч) позволяет обсчитывать первичные

данные (учитывать угол наклона градуировочного графика, навеску и объемы растворов) и выдавать итоговые результаты сразу в необходимых единицах (мг/кг).

Для извлечения подвижных форм фосфатов и калия из почв и почвогрунтов в настоящей работе использовали метод Кирсанова, заключающийся в обработке исследуемого образца массой 10 г 0,2 н. раствором HCl (50 мл) в течение 15 минут при перемешивании и последующем фильтровании полученной суспензии. Для извлечения нитратного азота навеску образца массой 10 г помещали в колбу и при перемешивании обрабатывали пятикратное количество 0,05%-ного раствора K_2SO_4 в течение 3 минут при перемешивании и последующем фильтровании полученной суспензии.

Для определения P_2O_5 к вытяжке, полученной из образца, добавляли раствор молибдата аммония в разбавленной серной кислоте и раствор аскорбиновой кислоты как восстановитель.

Ионометрическое определение нитрат-иона и калия проводили с использованием методик, приведенных в руководстве [2], адаптированных путем изменения объемов растворов для анализа вытяжек почв, содержащих, как правило, гораздо большие концентрации определяемых компонентов, чем воды, анализ которых описан в исходных методиках.

Разработанное приборно-методическое обеспечение апробировано при изучении состава образцов почвогрунта и почвы сельскохозяйственного назначения (координаты точки отбора пробы 54.651296 с. ш., 39.543922 в. д.) (табл.).

Таблица

**Результаты определения элементов питания растений
в образцах почв и почвогрунтов**

Образец	P_2O_5 мг/кг	K_2O мг/кг	Азот нитратный в пересчете на NO_3^- мг/кг
Почвогрунт 1 (Грунт ЭКО Плодородный)	6900	2000	530
Почвогрунт 2 (Грунт ЭКО Питательный)	8150	3300	330
Почва	1200	1200	130

Разработанное оборудование апробировано нами при организации проектных работ школьников старших классов при изучении ими влияния минеральных удобрений на питательный режим и свойств почвы.

Таким образом, в настоящей работе предложено приборно-методическое обеспечение, ориентированное на непрофессиональных пользователей, имеющее двойное назначение: во-первых, позволяющее в условиях частных приусадебных хозяйств определять обеспеченность почв важнейшими элементами питания, во-вторых, применимое для организации учебных проектно-исследовательских работ в области агрохимии в условиях школьных лабораторий.

При проведении исследования использовано приборно-методическое обеспечение на базе «Ардуино», разработанное в соответствии с государственным заданием (выполнение работ) № 073-00078-23-00 от 19.01.2023. Исследование выполнено в рамках комплексного проекта по теме «Высокотехнологичное производство грунтов методами инновационной переработки отходов» в рамках соглашения № 075–11–2021–059.

Библиографический список

1. Оценка качества почвогрунтов и их компонентов по показателям содержания неорганических веществ / А. С. Чепрасова, М. А. Севостьянов, Н. Г. Новикова, А. А. Колкова, А. В. Маршева, Д. Б. Петренко, Н. В. Васильев // *Агрохимический вестник*. 2023. № 3. С. 70–74.
2. Мидгли Д., Торренс К. Потенциометрический анализ воды. М. : Мир, 1980. 519 с.

СЕКЦИЯ 3

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

БИОПЛЕНКИ НА КАМЕНИСТОМ СУБСТРАТЕ

*Л. И. Домрачева^{1,2}, С. Г. Скугорева², А. И. Фокина³,
Л. В. Кондакова³, А. И. Коротких¹, Т. Я. Ашихмина^{2,3}*

¹ *Вятский государственный агротехнологический университет,
dli-alga@mail.ru,*

² *Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,*

³ *Вятский государственный университет*

Показано, что в течение длительного периода (более 15 лет) в модельном опыте на каменистом субстрате в режиме автономного самоподдержания существуют биопленки. В состав этих биопленок входят цианобактерии и зеленые водоросли с плотностью популяции около 7 млрд клеток на 1 см². Абсолютное доминирование цианобактерий связано с их автотрофией по углероду и азоту, а также выделением биологически активных веществ, подавляющих антагонистов и паразитов.

Ключевые слова: биопленки, цианобактерии, каменистый субстрат, антифузариозная активность.

Феномен массового размножения фототрофных микроорганизмов на поверхности почвы и других плотных субстратах реализуется в виде «цветения» и биопленок. В первом случае фототрофные сообщества практически неотделимы от субстрата; во втором – возможно их легкое отделение от любой плотной поверхности. Одним из таких субстратов, где они в массе размножаются и длительное время вегетируют, являются камни различной природы в различных экотопах от Антарктики до тропиков [1–15]. «Цветение» и биопленки, представляющие собой микробные экосистемы, были обнаружены на скалах в пустынях, в горах на поверхности зданий, и во всех случаях имеется прямой контакт с атмосферным воздухом и солнечной радиацией [5]. В большинстве случаев подобные разрастания многовидовые и содержат как главного доминанта цианобактерий, которые характеризуются высокой скоростью роста, их спутниками и постоянными партнерами являются водоросли и микромицеты [6]. Питание в данных сообществах осуществляется за счет атмосферных газов, которые являются источником диоксида углерода для фотосинтеза и молекулярного азота для азотфиксации цианобактерий. По-

добные биопленки и разрастания способны индуцировать физические и химические изменения каменистых материалов, их постепенное разрушение, или, наоборот, сцепление агрегатов вследствие нитчатых, мицелиальных и слизистых форм, входящих в состав консорциумов.

Детально изучены особенности «цветения» почвы умеренной зоны, роль этого явления в почвенных процессах [3]. Доказана сезонная цикличность явления, групповой, видовой и количественный состав, а также индикаторная роль при техногенном и агрогенном воздействии. Помимо «цветения» почвы, как постоянного явления в умеренной зоне, неоднократно наблюдаются и разрастания фототрофов на каменистых субстратах (здания, памятники, камни, валуны).

Целью работы было изучить особенности биопленок, развивающихся на каменистом субстрате в течение длительного времени.

Исследуемый каменистый субстрат был найден у железной дороги и заинтересовал нас из-за наличия на нем цветных налетов. Камень поместили в пластиковый контейнер с водопроводной водой и оставили на свету. В течение 15 лет экспозиции происходило автономное развитие поверхностных микробных комплексов, при этом, кроме воды, в контейнер ничего не добавляли. Характер разрастаний, развивающихся на камне, был в виде плотных пленок, легко отделяемых от каменистого субстрата.

Для определения качественного и количественного состава разрастаний буриком площадью 1 см² были отобраны биопленки.

Количественный учет цианобактерий и водорослей проводили методом микроскопирования на мазках [3]. Определение видового состава проводили в свежих культурах и при выращивании на жидкой питательной среде Громова № 6 без азота.

Антифузариозную активность выявляли путем помещения вырезанных дисков площадью 1 см² на предварительно выращенный газон фитопатогенного гриба *Fusarium culmorum* с последующим измерением диаметра зон лизиса. Эксперимент проводили в 5-кратной повторности.

Концентрацию фотосинтетических пигментов в биопленках определяли спектрофотометрическим методом при длинах волн 662 нм (хлорофилл *a*), 644 нм (хлорофилл *b*) и 470 нм (каротиноиды) в кювете с толщиной слоя 1 см [14]. Содержание железа определяли методом инверсионной вольтамперометрии.

Статистическую обработку результатов проводили в программе Excel. В таблице представлены средние арифметические значения и ошибки средних.

Количественно-видовая характеристика биопленок. Полученные результаты показали, что главный вклад в развитие биопленок вносят цианобактерии следующих видов *Nostoc linckia* Born. et Flah. f. *muscorum* (Ag.) Elenk. с присутствием *Leptolyngbya angustissima* Anag. et Kom., *L. fragilis* (Gom.) Anag. et Kom., *Phormidium autumnale* Gom. в ассоциации с двумя ви-

дами зеленых водорослей *Chlorella vulgaris* Beijerinck и *C. minutissima* Fot et Novakova.

В результате проведенных исследований установлено, что плотность клеток водорослей и цианобактерий в данных биопленках велика (около 7 млрд кл./см²) при этом вклад цианобактерий составляет 99% по численности и по видовому разнообразию 66,7% (табл. 1).

Таблица 1

Количественно-видовая специфика биопленок каменистого субстрата (модельный опыт)

Показатель	Значение
Общее количество видов фототрофов	6
Число видов цианобактерий	4
Численность фототрофов, · 10 ⁸ кл./см ²	69,26
Содержание цианобактерий, %	99

Физиолого-биохимическая характеристика биопленок. Результаты, приведенные в таблице 2, показывают, что изучаемые биопленки обладают способностью подавлять развитие такого опасного фитопатогена, как микромицет *Fusarium culmorum*. Эта способность обусловлена выделением цианобактериями соединений, обладающих антигрибной активностью, что может служить причиной автономного длительного существования биопленок, не поражаемых грибами паразита. Таким образом, биопленки обладают определенным биотехнологическим потенциалом.

Достаточно высокое содержание железа в биопленках, которое входит в состав ферментов каталазы, пероксидазы и в состав ферментов, участвующих в синтезе хлорофилла, является одним из доказательств активного протекания процессов метаболизма. При этом содержание фотосинтетических пигментов находится на достаточно высоком уровне.

Таблица 2

Физиолого-биохимическая специфика биопленок каменистого субстрата (модельный опыт)

Показатель	Значение	
Антифузариозная активность (диаметр зоны, лизиса), мм	3,8±0,8	
Содержание железа, мкг/г	50±13	
Содержание фотосинтетических пигментов, мкг/г сырой массы	хлорофилла <i>a</i>	118±9
	хлорофилла <i>b</i>	28±8
	каротиноидов	45±7

Таким образом, длительное автономное существование биопленок на каменистом субстрате обеспечивается интенсивным размножением цианобактерий, в процессе которого плотность их популяций может достигать нескольких миллиардов клеток на 1 см². Нитчатые формы цианобактерий и выделение ими слизи обеспечивают агрегацию видов в единую морфологическую структуру, обладающую способностью к самоподдержанию и самовозобновлению вследствие автотрофии по углероду (фотосинтез) и азоту (азот-

фиксации), потребляемых из воздуха, из-за счет высокой активности железосодержащих ферментов, участвующих процессы дыхания и фотосинтеза, и отторжения вселенцев-паразитов из-за выделения соединений, обладающих антигрибной активностью.

Библиографический список

1. Панкратова Е. М., Трефилова Л. В. Симбиоз как основа существования цианобактерий в естественных условиях и в конструируемых системах // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 4–14.
2. Заварзин Г. А., Крылов Н. Н. Цианобактериальные сообщества – колодец в прошлое // Природа. 1983. № 3. С. 59–68.
3. Домрачева Л. И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 2005. 336 с.
4. Пиневиц А. В., Коженкова Е. В., Аверина С. Г. Биопленки и другие прокариотные консорциумы. СПб. : Химиздат, 2018. 254 с.
5. Gorbushina A. Life on the Rocks // Environmental Microbiology. 2007. Vol. 9. No. 7. P. 1613–1631. doi: 10.1111/j.1462-2920.2007.01301.x
6. Fungi at the edge of life: cryptoendolithic black fungi from Antarctic desert / L. Selbmann, G.S. de Hoog, A. Mazzaglia, E.I. Friedmann, S. Onofri // Studies in Mycology. 2005. Vol. 51. P. 1–32.
7. Microbial biofilm community structure and composition on the lithic substrates of Herculeaneum Suburban Baths / A. De Natale, B. H. Mele, P. Cennamo, A. Del Mondo, M. Petraretti, A. Pollio // PLoS One. 2020. Vol. 15. No. 5. Article No. e0232512. doi: 10.1371/journal.pone.0232512
8. Periphytic biofilm formation on natural and artificial substrates: comparison of microbial compositions, interactions, and functions / L. Miao, C. Wang, T. M. Adyel, J. Zhao, N. Yan, J. Wu, J. Hou / Front Microbiol. 2021. Vol. 12. Article No. 684903. doi: 10.3389/fmicb.2021.684903
9. Differential colonization and succession of microbial communities in rock and soil substrates on a maritime Antarctic glacier forefield / I. Garrido-Benavent, S. Pérez-Ortega, J. Durán, C. Ascaso, S. B. Pointing, R. Rodríguez-Cielos, F. Navarro, A. de Los Ríos // Front Microbiol. 2020. Vol. 11. Article No. 126. doi: 10.3389/fmicb.2020.00126
10. Schultz M., Porembski S., Budel B. Diversity of rock-inhabiting cyanobacterial lichens: studies on granite inselbergs along the Orinoco and Guyana // Plant. Biol. 2000. Vol. 2. P. 482–495.
11. Bell R. A. Cryptoendolithic algae of hot semiarid lands and deserts // J. Phycol. 1993. Vol. 29. P. 133–139.
12. Crispin C., Gaylarde C. Cyanobacteria and biodeterioration of cultural heritage: a review // Microb. Ecol. 2005. Vol. 49. P. 1–9.
13. Rossi F., De Phillips R. Role of cyanobacterial exopolysaccharides in phototrophic biofilms and in complex microbial mats // Life. 2015. Vol. 5. P. 1218–1238.
14. Пивоварова Ж. Ф. Особенности таксономической структуры почвенных фотоавтотрофов при освоении первичных субстратов // Растительный мир Азиатской России: Вестник Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. 2012. № 1 (9). С. 16–21.
15. Физиология растений: лабораторный практикум для студентов биологического факультета / А. П. Кудряшов, Т. И. Дитченко, О. В. Молчан, И. И. Смолич, О. Г. Яковец. Минск : БГУ, 2011. 76 с.

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФОСФОРИТОВ ВЕРХНЕКАМСКИХ БЕДНЫХ НА ПОЧВЕННУЮ АЛЬГОЦИАНОФЛОРУ

Л. В. Кондакова^{1,2}, Н. В. Сырчина², Т. Я. Ашихмина^{1,2}

¹ *Институт биологии Коми научного центра*

Уральского отделения Российской академии наук,

² *Вятский государственный университет, ecolab2@gmail.com*

Изучена реакция почвенной альгоцианофлоры на фосфориты Верхнекамские бедные (ФВБ), предназначенные для использования в качестве натуральных удобрений. Наиболее чувствительной группой по отношению к удобрению оказались почвенные цианобактерии (ЦБ), отзывчивые на фосфор и уменьшение кислотности почвы. Внесение ФВБ привело к увеличению видового разнообразия и количественных показателей ЦБ в почве.

Ключевые слова: почвенная альгоцианофлора, агроземы, глаукониты, фосфориты Верхнекамские бедные

Фосфориты верхнекамские бедные (ФВБ) представляют собой новый продукт, предназначенный для использования в сельском хозяйстве в качестве почвенного мелиоранта или натурального фосфорно-калийного минерального удобрения. Сырьём для производства ФВБ служат глауконитсодержащие хвосты обогащения фосфоритов (ХОФ) Вятско-Камского месторождения. Основными компонентами ХОФ являются глаукониты (до 70%), фосфориты мелких фракций, кварцевый песок, глинистые и известковые материалы [1]. Согласно опубликованным данным, ХОФ являются ценным агрохимическим сырьём, оказывающим положительное влияние на химический состав и плодородие почв [2, 3]. Внесение данного удобрения приводит к обогащению почвы фосфором, калием, ценными микроэлементами и азотом. Можно предположить, что источником накопления связанного азота являются почвенные азотфиксирующие микроорганизмы – цианобактерии (ЦБ) [4]. Известно, что многие представители ЦБ весьма отзывчивы на фосфорные удобрения, однако данные о влиянии ФВБ на видовой состав и численность почвенных микрофототрофов в опубликованных источниках отсутствуют, что затрудняет прогнозирование экологических последствий, к которым может привести использование соответствующего материала в практике сельского хозяйства.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния ФВБ на видовой состав и количественные показатели почвенных ЦБ и микроводорослей (МВ).

Для проведения исследований использовали образцы ФВБ молотых (ФВБМ). Массовая доля, (%): P_2O_5 – 6,1; K_2O – $3,4 \pm 0,5$; S – $1,1 \pm 0,1$; CaO – $9,2 \pm 0,2$; MgO – $1,5 \pm 0,2$. Содержание тяжелых металлов (мг/кг): Cd –

0,18±0,01; Pb – 13,8±1,1; Cu – 6,0±0,3; Zn –105±10; Ni – 74,6±4,2; As – 34,6±2,4; Hg < 0,005.

В качестве субстрата для оценки различных норм внесения ФВБМ на альгоцианофлору использовали образцы почвы с содержанием гумуса 5,5%; P₂O₅ – 110 мг/кг; K₂O – 110 мг/кг; рН_{KCl} – 6,8; сумма поглощённых оснований –23,4 ммоль/100 г. Добавки ФВБМ вносили в воздушно-сухой субстрат согласно вариантам эксперимента и перемешивали.

Варианты эксперимента: 1) агрозём без добавок (контроль); 2) агрозём + ФВБ (0,2 г/кг); 3) агрозём + ФВБ (0,5 г/кг); 4) агрозём + ФВБ (1,0 г/кг).

Видовой состав развивающихся в субстрате водорослей выявляли методами постановки водных культур и чашечных со «стеклами обрастания» [5]. Определение видového состава микрофототрофов проводили с использованием отечественных и зарубежных определителей. Определение численности клеток проводили по методу [6]. Все экспериментальные исследования выполняли в лабораторных условиях в трёхкратной повторности. Для статистической обработки результатов применяли стандартные методы с использованием встроенного пакета программ Excel, STATISTICA 10.

В субстрате с добавками ФВБМ выявлено 38 видов микрофототрофов, в том числе: Cyanobacteria – 14; Chlorophyta – 10; Xanthophyta – 4; Eustigmatophyta – 2; Bacillariophyta –7; Euglenophyta – 1. На первом месте по числу видов оказались ЦБ (36,8% от общего числа выявленных видов); на втором месте – Chlorophyta (26,4%), на третьем – Bacillariophyta (18,5%). Альгофлора других таксонов была представлена небольшим числом видов.

Анализ видového разнообразия и количественных показателей микрофототрофов показал положительное влияние удобрения на основе ФВБ на реализацию видového потенциала (табл. 1) и численности почвенных микрофототрофов (табл. 2). Наиболее чувствительной группой по отношению к ФВБ оказались ЦБ, отзывчивые на фосфор и уменьшение кислотности почвы. По сравнению с контролем, их видовое разнообразие в варианте 3 (добавка ФВБ 0,5 г/кг) увеличилась в полтора раза с 8 до 12 видов (табл. 1), численность возросла на 28%. В варианте 4 при норме внесения ФВБ 1,0 г/кг почвы не произошло увеличения видového разнообразия микрофототрофов, численность возросла на 22%.

Таблица 1

Влияние разных добавок фосфоритов Верхнекамских бедных на видовое разнообразие выявленных таксонов

Вариант	Cyanobacteria		Chlorophyta		Xanthophyta		Eustigmatophyta		Bacillariophyta		Euglenophyta		Всего
	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Контроль	8	29,6	7	25,9	3	11,2	1	3,7	7	25,9	1	3,7	27
0,2 г/ кг	8	33,3	7	29,2	2	8,3	0	0	6	25,0	1	4,2	24
0,5г/ кг	12	36,4	9	27,3	3	9,1	1	3,0	7	21,2	1	3,0	33
1,0 г/ кг	9	37,5	5	20,8	2	8,3	1	4,2	6	25,0	1	4,2	23
Всего	14	36,8	10	26,4	4	10,5	2	5,2	7	18,5	1	2,6	38

Примечание: * 1 – число выявленных видов в варианте; ** 2 – доля от общей численности видов, выявленных в соответствующем варианте эксперимента.

Таблица 2

**Количественные показатели альгоцианофлоры
в вариантах эксперимента**

Варианты	Cyanobacteria	Chlorophyta+Xanthophyta	Bacillariophyta	Всего
Контроль	109,7±7,1	34,0±2,8	30,3±4,3	174,0±14,3
0,2 г/кг	142,7±17,1	35,9±4,3	27,4±4,3	206,0±25,7
0,5 г/кг	166,4±8,6	36,9±2,8	18,9±4,3	222,3±15,8
1,0 г/кг	173,1±28,8	38,8±4,3	28,4±2,8	211,9±35,9

По видовому составу доминирующих видов разные варианты эксперимента оказались сходными (табл. 3).

Таблица 3

**Доминирующие виды микрофототрофов в вариантах
с различными добавками фосфоритов Верхнекамских бедных**

Вариант	Доминирующие виды микрофототрофов
1. Контроль	<i>Nitzschia palea</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Navicula pelliculosa</i> , <i>Phormidium autumnale</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> (диатомовые водоросли и цианобактерии)
2. 0,2 г/кг почвы	<i>Nitzschia palea</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Leptolyngbya frigida</i> (диатомовые водоросли и цианобактерии)
3. 0,5 г/кг почвы	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>Navicula pelliculosa</i> (цианобактерии и диатомовые водоросли)
4. 1,0 г/кг почвы	<i>Nostoc paludosum</i> , <i>Leptolyngbya angustissima</i> , <i>L. foveolarum</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>Navicula pelliculosa</i> (цианобактерии и диатомовые водоросли)

В контрольном варианте и в варианте с минимальной добавкой ФВБ (0,2 г/кг) на первое место среди доминантов выходят диатомовые водоросли, в вариантах с более высокими добавками ФВБ (0,5 г/кг и 1,0 г/кг) – ЦБ (табл. 3).

Для оценки сходства видового разнообразия альгоцианофлоры использовали коэффициент Жаккара [7]. Установлено высокое сходство вариантов с внесением удобрений в дозах 0,2 г/кг и 0,5 г/кг (коэффициент Жаккара 95,8%). В варианте с более высокой добавкой ФВБ (1 г/кг) коэффициент сходства был значительно ниже – 56,2%.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы: ФВБМ оказывают существенное влияние на сообщества почвенных микрофототрофов, что может отразиться на балансе связанного азота в почве.

Наибольший эффект от внесения ФВБМ (увеличение численности и видового разнообразия микрофототрофов) был получен при внесении ФВБМ в норме 0,5 г на 1 кг почвы (примерно 1,0–1,5 т/га).

Наибольшую чувствительность к добавке ФВБМ проявили *Cyanobacteria*. По сравнению с контролем, их видовое разнообразие в варианте 3 (добавка ФВБМ 0,5 г/кг) увеличилось в полтора раза. Численность возросла на 28%.

Внесение в агрозём ФВБМ изменяет соотношение доминирующих видов. Доминантами сообщества становятся ЦБ. В контрольном варианте доминирующее положение занимали диатомовые водоросли.

Коэффициент Жаккара показал высокое сходство альгоцианофлоры вариантов с внесением ФВБМ в дозах 0,2 г/кг и 0,5 г/кг – 95,8%. В варианте с более высокой добавкой (1 г/кг) данный коэффициент не превышал 56,2%.

Результаты исследования могут быть использованы при расчёте норм внесения ФВБМ в почву.

Библиографический список

1. Перспективы использования хвостов обогащения фосфоритов в качестве удобрений для органического земледелия / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 160–166. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-160-166

2. Состав и технология производства серного удобрения с активированным торфом и глауконитовым эфелем / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 134–141. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-134-141

3. Глаукониты Вятско-Камского фосфоритоносного бассейна / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 117–122. doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-117-122

4. Кондакова Л. В., Сырчина Н. В., Ашихмина Т. Я. Влияние хвостов обогащения фосфоритов, используемых в качестве удобрения, на почвенные альгоцианобактериальные сообщества // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 174–180. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-174-180

5. Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М. : Наука, 1976. 143 с.

6. Домрачева Л. И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар, 2005. 336 с.

7. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике : учебное пособие. Л. : Изд-во ЛГУ, 1984. 288 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЬГОФЛОРЫ ПОЙМЕННЫХ ОЗЕР НА ТЕХНОГЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Л. В. Кондакова^{1,2}, Е. В. Дабах^{1,2}, Г. Я. Кантор^{1,2}

¹ Вятский государственный университет, ecolab2@gmail.com

² Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

Состояние озёр в пойме реки Вятки изучалось методом альгоиндикации. Два озера испытывают техногенную нагрузку (химическое загрязнение), одно – фоновое – рекреационную. Загрязнённые озера отличаются по видовому разнообразию альгоцианофлоры: количество видов в них в 2 раза ниже, чем в фоновом водоеме. В отдельные годы в них отсутствовали представители отделов Chrysophyta, Xanthophyta, Dinophyta, Euglenophyta, характерные для

незагрязненных водоемов. Во всех озерах в 2022 г. максимальное количество видов микрофототрофов было выявлено в поверхностном слое воды.

Ключевые слова: пойменные озера, техногенное загрязнение, альгоцианнофлора, доминирующие виды.

Исследование химического состава воды и альгофлоры фитопланктона проводилось на озерах в пойме реки Вятки в августе 2022 г. Два озера (Бобровое и Березовое) находятся на техногенной территории в окрестностях хранилищ отходов химических предприятий г. Кирово-Чепецка, различаются размерами и составом воды. В качестве фонового рассматривалось оз. Холуново, расположенное в 9 км к западу от первых двух озер ниже по течению реки. Пробы воды из озер отбирали с трех глубин 0, 2,5 и 5 м (в оз. Холуново максимальная глубина 2,8 м) в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020 в одно и то же время – в конце лета. Электропроводность в полевых условиях измеряли при помощи кондуктометра WTW Cond 3310 с погружным комбинированным датчиком TetraCon 325, глубина погружения ячейки определялась по отметкам на кабеле с точностью 0,1 м.

Для изучения фитопланктона использовали метод отстаивания: 0,5 литра пробы воды из водоема помещали в бутылку и фиксировали раствором 40% формалина до появления устойчивого запаха. Вода отстаивалась 15–20 дней, планктон в это время осаждался. Воду отсасывали из середины бутылки сифоном, при этом планктон оставался на дне. Видовой состав фитопланктона определяли под микроскопом, используя отечественные и зарубежные определители.

Негативное воздействие на поверхностные водные объекты на техногенной территории проявляется в поступлении в озера загрязненных подземных вод, в солевом составе которых преобладает нитрат аммония [1].

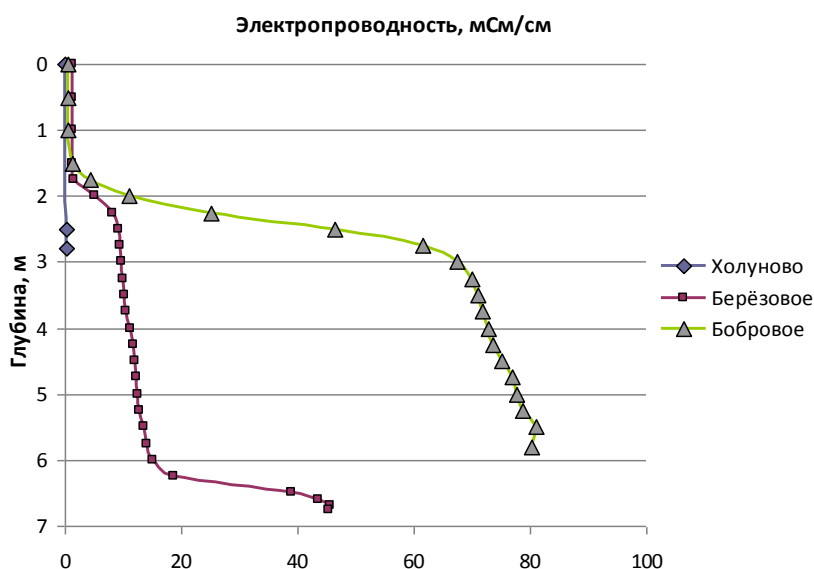


Рис. Электропроводность воды в пойменных озерах 24.08.2022

Об изменении концентрации растворов с глубиной можно судить по распределению в воде электропроводности. На рисунке показано, что максимальные концентрации солей характерны для озера Бобрового. Загрязненные воды нижних слоев почти не перемешиваются с относительно чистыми водами верхних, о чем свидетельствует скачок концентраций на глубине около 2–2,5 м.

Таблица

Особенности альгофлоры пойменных озер в 2022 г.

Показатель	Оз. Холуново	Оз. Бобровое	Оз. Березовое
Количество видов	Chlorophyta – 14; Bacillariophyta – 4; Euglenophyta – 3; Cyanobacteria – 6 Другие отделы – 4 Всего видов – 31	Chlorophyta – 12; Bacillariophyta – 2; Euglenophyta – 0; Cyanobacteria – 0 Другие отделы – 2 Всего видов – 16	Chlorophyta – 13; Bacillariophyta – 2; Euglenophyta – 0; Cyanobacteria – 0 Другие отделы – 1 Всего видов – 16
Доминирующие виды	<i>Ankistrodesmus</i> sp., <i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Coelastrum microporum</i> , <i>Crucigenia tetrapedia</i> , <i>Scenedesmus denticulatus</i> , <i>S. quadricauda</i> , <i>S. bijugatus</i> , <i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i> , <i>S. quadricauda</i> , <i>Ankistrodesmus</i> sp.	<i>Ankistrodesmus</i> sp., <i>Coelastrum microporum</i> , <i>Scenedesmus denticulatus</i> , <i>S. quadricauda</i>

Оценка состояния водоемов альгоиндикационным методом показала, что видовое разнообразие альгофлоры в озерах на техногенной территории в 2 раза ниже, чем в незагрязненных водных объектах (озеро Холуново) (табл.). Озеро Холуново расположено в рекреационной зоне г. Кирова и также испытывает антропогенную нагрузку, но другого характера: рыбалка, купание, катание на лодках.

В озерах на техногенной территории таксономический состав фитопланктона был представлен в основном зелеными водорослями. На их долю приходилось 73,1% видового разнообразия в оз. Бобровое, 81% – в оз. Березовое. В оз. Холуново зеленые водоросли составляли 37,5% видового разнообразия. Доминирующие в пресноводных экосистемах диатомовые водоросли в озерах, испытывающих техногенную нагрузку, имели невысокое видовое разнообразие. Встречались только представители родов *Nitzschia*, *Navicula*, *Pinnularia*. В оз. Холуново выявлены виды диатомовых водорослей: *Acanthoceras zachariasii* (бета-олигосапробионт), *Diatoma* sp., *Gyrosigma* sp., *Nitzschia* sp., *N. palea*, *Synedra* sp., *Pinnularia* sp., *Navicula* sp. В целом, пойменное озеро Холуново имело более богатый таксономический состав микрофототрофов: присутствовали ЦБ, золотистые водоросли (*Dinobryon divergens*), представители отделов Xanthophyta, Dinophyta, Euglenophyta. Из Cyanobacteria в озере Холуново встречены *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Merismopedia tenuissima*, *Pseudanabaena catenata*, *Anabaena* sp., *Phormidium formosum*. *Aphanizomenon flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa* способны вызывать «цветение» воды, являются видами-бета-мезосапробионтами. Остальные

перечисленные виды ЦБ указывают на слабое загрязнение водоема. Во всех озерах в 2022 г. отмечено снижение видового разнообразия с глубиной. Это вполне закономерно, так как уменьшается поступление солнечной энергии, необходимой для фотосинтеза.

Таким образом, в сравнении с фоновым озером, в озерах на техногенной территории видовое разнообразие альгоцианофлоры было в 2 раза ниже. По видовому разнообразию во всех озерах преобладают зеленые водоросли, они являются доминантами сообществ фитопланктона изученных водоемов. Видовой состав фитопланктона пойменных озер указывает на наличие азотного загрязнения, причиной которого является поступление сильно минерализованных подземных вод (оз. Бобровое и оз. Березовое) и рекреационная нагрузка (оз. Холуново).

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. Загрязнение природных сред вблизи системы водоотведения Кирово-Чепецкого химического комбината / Г. В. Дружинин., А. П. Лемешко, В. В. Синько, Т. А. Ворожцова, В. А. Нечаев // Региональные и муниципальные проблемы природопользования : материалы 9-й науч.-практ. конф. Киров, 2006. С. 125–127.

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ ПРОКАРИОТНЫХ СООБЩЕСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЕВЗЕИ САФЛОРОВИДНОЙ И ЭСАРЦЕТА ПЕСЧАНОГО

*И. Г. Широких^{1,3}, Г. П. Майсак², Н. А. Боков³, Н. А. Морозков²,
А. В. Старцева²*

¹ *Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,*

² *Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –
филиал ПФИЦ Уральского отделения Российской академии наук,*

³ *Федеральный аграрный научный центр
Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, irgenal@mail.ru*

Исследовано таксономическое богатство и филогенетическое разнообразие бактериальных сообществ, формирующихся в процессе длительного возделывания левзеи сафлоровидной и эспарцета песчаного в сравнении с сообществами запольных участков этих кормовых культур на дерново-подзолистой почве Вятско-Камского Предуралья.

Ключевые слова: микробное сообщество, прокариотный компонент, филогенетическая структура, ампликонное секвенирование, таксономический состав, секвенирование, технология Illumina.

Прокариотный компонент микробного сообщества почвы занимает особое место в биологической диагностике благополучия почвенной микробной системы [1]. В условиях усиления антропогенной нагрузки на природные экосистемы, изучение таксономического богатства и разнообразия бактериальных комплексов, поиск информативных индикаторов и таксономических групп, представляется весьма актуальной задачей, благодаря уникальной роли микроорганизмов в сохранении экологической устойчивости почв и поддержании биологического разнообразия почвенных экосистем [2–4].

Известно, что большую часть в составе почвенных микроорганизмов составляют некультивируемые виды, и возможность их изучения появилась только с применением в почвенной микробиологии молекулярно-генетических методов [5]. С развитием этих методов стало также возможным выяснение влияния отдельных факторов и их сочетаний на формирование наиболее благоприятных почвенных условий. Применение молекулярных методов, в частности, изучение таксономического состава микробных сообществ и оценка их биоразнообразия с помощью ампликонного секвенирования тотальной почвенной ДНК, переводят исследования микробиологических свойств почвы на новый уровень, что особенно актуально на современном этапе.

Цель работы – изучить таксономический состав и филогенетическое разнообразие прокариотных сообществ дерново-подзолистой почвы при длительном возделывании левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides*) и эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria*) по данным ампликонного секвенирования 16S рРНК.

Выделение тотальной почвенной ДНК и секвенирование проведено в Центре коллективного пользования «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ (Санкт-Петербург, г. Пушкин). Анализу на приборе Illumina MiSeq были подвергнуты образцы из ризосферы левзеи сафлоровидной и эспарцета песчаного, а также из почвы запольных участков, расположенных рядом с посевами этих кормовых культур.

В результате биоинформатической обработки полученных данных с использованием автоматизированного алгоритма QIIME 2 и базы нуклеотидных последовательностей GreenGenes, версия 13_8, определены 28 бактериальных и 1 архейный филум прокариот, составившие более 95% от числа всех классифицированных последовательностей. В почвах из ризосферы кормовых растений доминировали филумы *Proteobacteria* – 23,2–29,8% и *Actinobacteria* – 21,4–30,3%. Изменения в представленности филумов по сравнению с прокариотными сообществами запольных участков не выявлены. Более выраженные различия между исследованными почвенными микробиомами установлены на уровнях порядков, семейств и родов.

Таксономическое богатство и филогенетическое разнообразие микробных сообществ исследовано и охарактеризовано с помощью индексов Шеннона, Чао1, Фишера, Пиелу и Симпсона (табл.).

Таблица

Индексы таксономического богатства и разнообразия прокариот в образцах исследованных почв

Вариант отбора образца	Индексы разнообразия			Выявленные таксоны (богатство)	Индекс Фишера	Индекс Пиелу
	Чао 1	Шеннона	Симпсона			
Эспарцет	268	7,66	0,9941	268	51,6	0,950
Запольный участок эспарцета	257	7,53	0,9933	257	48,1	0,941
Левзея	483	8,58	0,9970	479	89,0	0,964
Запольный участок левзеи	1095	9,70	0,9986	1059	195,7	0,969

При длительном возделывании эспарцета наблюдалось увеличение разнообразия прокариотного сообщества дерново-подзолистой почвы и появление в его структуре новых таксонов, представленных преимущественно бактериями, отнесенными к классам Alphaproteobacteria и Betaproteobacteria, филуму Bacteroidetes. Микробиом почвы под левзеей сафлоровидной (без удобрений), наоборот, изменился по сравнению с почвой запольного участка в сторону снижения филогенетического разнообразия прокариот.

Установленные различия между образцами по таксономическому составу и филогенетическому разнообразию отображены в виде ординации микробных сообществ, выполненной методом главных компонент (рис.).

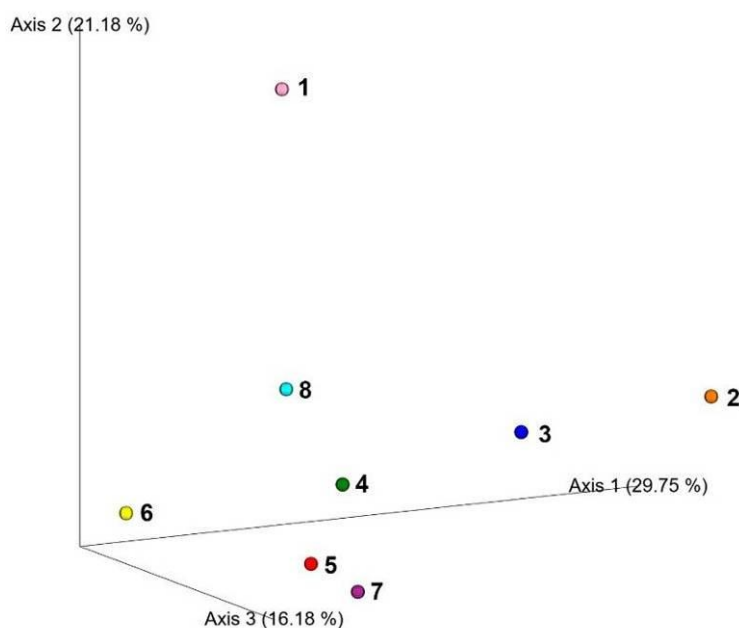


Рис. Ординация прокариотных сообществ дерново-подзолистой почвы под эспарцетом песчаным (1), левзеей сафлоровидной (4–8) и запольных участков (2 и 3), выполненная методом главных компонент

Полученный 3D график характеризует около 70% общей изменчивости родового состава прокариот в исследуемых образцах. Наиболее близко в пространстве трех главных осей расположены друг к другу сообщества образцов № 4–8, характеризующихся общим растительным покровом (левзея сафлоровидная), а также микробные сообщества запольных участков № 2 и 3, лишенные растительности (пашня). Точка (№ 1), соответствующая почвенному микробиому под эспарцетом песчаным, удалена от них на значительное расстояние, обусловленное, вероятно, как иным характером растительного покрова (бобовая культура), так и отсутствием поступления в почву экзогенных элементов питания (без удобрений). Расстояние между микробиомами почвы под левзеей без удобрений (№ 4) и почвы рядом расположенного запольного участка (№ 3) значительно короче, чем расстояние между точками, соответствующими эспарцету без удобрений (№ 1) и расположенному рядом с ним запольному участку (№ 2). Это может косвенно свидетельствовать о том, что трансформирующее влияние на почвенный микробиом, которое оказал эспарцет песчаный, превосходит влияние, обусловленное возделыванием левзеи сафлоровидной.

Таким образом, использованный в работе молекулярный метод позволяет соотнести таксономическую структуру прокариотного компонента с процессами формирования микробного сообщества и использовать микробиоту в оценке изменений, происходящих в почве при ее сельскохозяйственном использовании.

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), при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-44-596007 р_НОЦ_Пермский край и государственного задания № FNWE-2022-0005 ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого».

Библиографический список

1. Добровольская Т. Г. Структура бактериальных сообществ почв. М. : Академкнига, 2002. 285 с.
2. Микроорганизмы как агенты биомониторинга и биоремедиации загрязненных почв / под общ. ред. Т. Я. Ашихминой, Л. И. Домрачевой. Киров : Науч. изд-во ВятГУ, 2018. 254 с.
3. Doran J. W., Zeiss M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality // Appl. Soil Ecology. 2000. Vol. 15. P. 3–11. doi: 10.1016/S0929-1393(00)00067-6
4. Соколов М. С., Глинушкин А. П., Спиридонов Ю. Я. Перспективы исследований по улучшению качества и оздоровления почв России // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 7. С. 5–10.

5. Анализ показателей почвенного микробиома в процессах, связанных с почвообразованием, трансформацией органического вещества и тонкой регуляции вегетационных процессов/ Е. Е. Андронов, Е. А. Иванова, Е. В. Першина, О. В. Орлова, Ю. В. Круглов, А. А. Белимов, И. А. Тихонович // Бюллетень почвенного института имени В. В. Докучаева. 2015. № 80. С. 83–94.

РЕЗУЛЬТАТЫ СКРИНИНГА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ЦЕННЫХ ШТАММОВ СРЕДИ СТРЕПТОМИЦЕТОВ ИЗ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

И. Г. Широких^{1,2}, Я. И. Назарова², Р. И. Абубакирова²

¹ *Институт биологии Коми научного центра*

Уральского отделения Российской академии наук,

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

Из серых лесных почв Вятско-Камского Предуралья выделены с помощью селективных приемов 14 культур с фенотипическими признаками, характерными для рода *Streptomyces*. Изучена способность изолятов оказывать противомикробное действие и регулировать рост растений на начальном этапе онтогенеза. Выявлены штаммы *Streptomyces ryensis* Н13-3 и *S. hygroscopicus* Н27-25 с биотехнологически ценными свойствами.

Ключевые слова: *Streptomyces*, биофунгициды, фиторегуляторная активность.

Поиск новых микроорганизмов-продуцентов биологически активных соединений для применения в медицине, сельском хозяйстве и ремедиации загрязненных объектов окружающей среды сохраняет свою актуальность в связи с высокой практической востребованностью микробных метаболитов. Характерные для природных соединений высокая специфичность, низкая токсичность и быстрая деградация в естественных круговоротах веществ позволяют сохранять природное равновесие при их хозяйственном применении.

К числу наиболее привлекательных объектов для использования в практической природосберегающей деятельности относятся бактерии рода *Streptomyces*. Стрептомицеты могут продуцировать антибиотики, сидерофоры, гидролитические или детоксицирующие ферменты и др. [1]. Стрептомицеты могут также улучшать рост растений посредством синтеза фитогормонов, витаминов, продукции АЦК-дезаминазы (1-аминоциклопропан-1-карбоксилат-дезаминазы) [2–4].

Цель работы – поиск и выявление штаммов рода *Streptomyces*, способных к подавлению роста грибов и бактерий, а также обладающих фитостимулирующей активностью.

Объектом для получения новых природных изолятов служила серая лесная почва, отобранная на территории Нижегородской области. Посев из разведений почвенных суспензий осуществляли на казеин-глицериновый

агар. В качестве селективного приема для ограничения роста других бактерий использовали прогревание почвы при 70 °С в течение 4-х часов. Инкубацию посевов проводили при 28 °С в течение 10 суток. Из вырастающих колоний с характерными для стрептомицетов признаками выделяли чистые культуры и хранили их при +4 °С на косом овсяном агаре. Культуральные и микроморфологические свойства изучали в соответствии с определителем Гаузе [5]. Все культуры характеризовались развитым воздушным мицелием (ВМ) с длинными цепочками спор и нефрагментирующимся субстратным мицелием (СМ), не имеющим спор (табл. 1).

Таблица 1

**Культуральные и морфологические свойства на среде Гаузе 1
изолятов из серой лесной почвы**

№	Штамм	Цвет			Цепочки спор	Секция, серия по [5]
		ВМ	СМ	РП		
1	Н 27-13	серый	желтый	нет	RA	Cinereus Aureus
2	Н27-25	серый	коричневый	нет	RF	Cinereus Chrysomallus
3	Н27-12	белый	кремовый	есть	S	Albus Albus
4	Н13-3	фиолетовый	фиолетовый	нет	RF	Roseus Roseoviolaceus
5	Н13-4	фиолетовый	фиолетовый	нет	RF	Roseus Roseoviolaceus
6	Н 13-7	белый	бесцветный	нет	RF	Albus Albus
7	Н 13-9	серый	желтый	нет	RF	Cinereus Aureus
8	Н16-2	розовый	розовый до фиолетового	нет	RF/RA	Roseus Roseoviolaceus
9	Н16-15	белый до серого	малиново-фиолетовый	розовый	S	Albus Albocoloratus
10	Н 2.3	серый	оливковый	нет	RF	Cinereus Chrysomallus
12	Н 21-2	серый	коричневый	нет	RF	Cinereus Chrysomallus
13	Н 21-7	серый	желто-зеленый	нет	RF	Cinereus Aureus
14	Н 27-3	серый	желтый	нет	RF	Cinereus Aureus

Примечание: R – прямые, RF, RA – извитые S – спиральные, РП – растворимый пигмент.

Далее все природные изоляты стрептомицетов тестировали в отношении фитопатогенных грибов *Fusarium avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*, *F. proliferatum*, *F. moniliforme*, *Bipolaris sorokiniana*, *Alternaria* sp. и бактерий *Erwinia rhapontici*, *Pseudomonas cepacea*, *Curtobacterium flaccumfaciens* G29г4, *Bacillus* sp. G29г3, *Bacillus aryabhattai* G11г3, *Pedobacter agri*, *Clavibacter michiganensis* методом диффузии в агар.

Выраженным фунгицидным действием характеризовались 6 культур стрептомицетов (табл. 2). Штаммы *Streptomyces* sp. Н 27-13, Н 27-25 и Н 13-3 проявили наиболее высокую (96–122 мм) ингибиторную активность, подавляя в чистых культурах рост соответственно 4-х, 6-ти и 5-ти тест-культур грибов, т.е. обладали умеренным и широким спектром фунгицидного действия. Несколько уступали им по силе ингибиторного действия (45–74 мм) и ширине антигрибного спектра (от 2-х до 4-х тест-культур) штаммы *Streptomyces* sp.

Н 13-4, Н 13-7 и Н 16-15. Остальные природные изоляты из серой лесной почвы не оказали на тест-культуры грибов угнетающего действия.

Таблица 2

Штаммы стрептомицетов с установленным фунгицидным действием

Штамм	Мин.-макс. зон ингибирования, мм	Σ диаметров отсутствия роста всех тест-грибов, мм	Ингибиторная активность	Количество чувствительных культур	Спектр действия
Н 27-13	22–28	96	высокая	4	умеренный
Н 27-25	18–24	122	высокая	6	широкий
Н 13-4	20–25	45	умеренная	2	узкий
Н 13-3	20–24	106	высокая	5	широкий
Н 13-7	16–20	74	умеренная	4	умеренный
Н 16-15	26–28	54	умеренная	2	узкий

Оценка антибактериального действия стрептомицетов показала, что наиболее активными являются штаммы *Streptomyces* sp. Н 13-3 (112 мм) и Н 27–25 (121 мм), которые ингибировали рост 5 тест-бактерий каждый (табл. 3).

Таблица 3

Штаммы стрептомицетов с установленным бактерицидным действием

Штамм	Мин.-макс. зон ингибирования, мм	Σ диаметров отсутствия роста всех тест-бактерий, мм	Ингибиторная активность	Количество чувствительных культур	Спектр действия
Н 16-2	16–20	90	умеренная	5	широкий
Н 27-6	14–22	82	умеренная	5	широкий
Н 27-25	20–30	121	умеренная	5	широкий
Н 13-4	15–18	87	умеренная	5	широкий
Н 13-3	18–25	112	высокая	5	широкий
Н 13-9	14–30	89	высокая	4	умеренный

Широким спектром антибактериального действия, но меньшей активностью ингибирования (от 82 до 90 мм) характеризовались изоляты *Streptomyces* sp. Н 16-2, Н 27-6, Н 13-4. Культура *Streptomyces* sp. Н 13-9, при высокой ингибиторной активности, отличалась от других более узким спектром действия (4 тест-культуры).

Проверка влияния жидких культур (ЖК) природных изолятов, выделившихся по антимикробному действию, на рост проростков пшеницы показала, что штаммы-лидеры *Streptomyces* sp. Н 27-25 и Н 13-3, сочетающие фунгицидную и антибактериальную активность метаболитов, одновременно способствуют увеличению всхожести, линейных размеров и воздушно-сухой биомассы растений (табл. 4).

**Фиторегуляторное действие штаммов-лидеров
по антимикробной активности**

Вариант обработки семян	Морфометрические показатели проростков пшеницы						Всхо- жесть, %	% от кон- троля
	длина корня, мм	% от кон- троля	длина побега, мм	% от кон- троля	биомас- са в.-с., г	% от кон- троля		
H ₂ O	95,6±13,87	–	37,0±6,42	–	0,18± 0,02	–	59±6,0	–
Среда	105,0±9,0	109	44,8±6,38	121	0,20± 0,03	111	66±9,5	111
ЖК Н13-3, 10 ⁻¹	107,8±9,81	113	40,7±6,41	110	0,24± 0,02	133	75±10, 5	127
ЖК Н13-3, 10 ⁻²	117,8±8,26	123	48,9±3,59	132	0,23± 0,03	128	70±5,1	119
ЖК Н 27- 25, 10 ⁻¹	106,1±13,8	111	47,3±4,9	128	0,23± 0,06	128	70±5,1	119
ЖК Н 27- 25, 10 ⁻²	113,5±11,3	119	44,0 ±3,5	119	0,24± 0,05	133	70±4,0	119

По данным секвенирования участка гена 16S рРНК, выявленные в результате скрининга по целевым свойствам культуры стрептомицетов Н13-3 и Н27-25, были генетически близки видам *Streptomyces ryensis* и *Streptomyces hygrosopicus* соответственно. Полученные последовательности депонированы в GenBank под номерами OR215467.1 и OR215430 (<https://submit.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Таким образом, в результате проведенной работы, с использованием селективного приема, из серой лесной почвы выделены 14 культур стрептомицетов. Скрининг в лабораторных условиях на способность продуцировать водорастворимые метаболиты с противомикробным и фиторегуляторным действием выявил среди полученных природных изолятов культуры *S. ryensis* Н13-3 и *S. hygrosopicus* Н27-25, сочетающие целевые свойства. Новые стрептомицетные штаммы представляют интерес в качестве продуцентов биофунгицидов и стимуляторов роста растений, могут быть использованы в разработке природоподобных технологий ремедиации почв с помощью микробно-растительных надсистем.

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

Библиографический список

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

2. Nimnoi P., Pongsilp N., Lumyong S. Endophytic actinomycetes isolated from *Aquilaria crassna* Pierre ex Lec and screening of plant growth promoters production // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2010. Vol. 26. No. 2. P. 193–203. doi: 10.1007/s11274-009-0159-3

3. Исследование ассоциации хозяев по штаммам ризосферных актинобактерий на двух алжирских сортах финиковой пальмы / Р. Берджа, Л. Ламари, Н. Бурас, М. Д. Хольц // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 135–141. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-135-141

4. Merzaeva O. V., Shirokikh I. G. The production of auxins by the endophytic bacteria of winter rye // Applied Biochemistry and Microbiology. 2010. Vol. 46. No. 1. P. 44–50. doi: 10.1134/S0003683810010072

5. Определитель актиномицетов. Роды *Streptomyces*, *Streptoverticillium*, *Chainia* / Г. Ф. Гаузе, Т. П. Преображенская, М. А. Свешникова, Л. П. Терехова, Т. С. Максимова. М. : Наука, 1983. 248 с.

КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРЕПТОМИЦЕТОВ ИЗ РИЗОСФЕРЫ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

С. Э. Мокрушина¹, И. Г. Широких²

¹ Вятский государственный университет, sveta.flouni@gmail.com

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

В связи с выяснением особенностей кинетики роста и колонизации субстрата мицелиальными бактериями рода *Streptomyces* определена радиальная скорость роста (K_r) для шести штаммов, выделенных из ризосферы лекарственных растений. Более быстрорастущими, чем изоляты с корней Melissa лекарственной, оказались изоляты с корней крапивы двудомной. Наибольшей скоростью освоения пространства характеризовался штамм КР-10 ($K_r = 65,7 \pm 8,8$ мкм/час).

Ключевые слова: стрептомицеты, радиальная скорость роста, ризосфера, колонизация.

На основе различных видов микроорганизмов из ризосферы созданы десятки препаратов, оказывающих положительный эффект в отношении различных сельскохозяйственных культур. Актуальность использования биопрепаратов заключается в возможности направленно регулировать количественный и качественный состав бактериального комплекса на корнях в соответствии с потребностями и возможностями растений. Бактерии рода *Streptomyces* проявляют различные полезные для растений свойства [1]. Штаммы стрептомицетов, выделенные из ризосферы растений, могут представлять особый интерес для изучения в качестве кандидатных штаммов для разработки биопрепаратов ростстимулирующего и биоконтрольного действия. Наряду с ценными физиологическими свойствами, такие культуры должны обладать определенными кинетическими характеристиками. Радиальная скорость роста

находится в линейной зависимости от времени культивирования и является важным количественным показателем, который характеризует потенциальные возможности конкретного штамма к освоению тех или иных естественных или искусственных субстратов [2].

В научных исследованиях измерение скорости роста микроорганизмов проводится с различными целями [3–6]. Этот показатель позволяет оценить влияние различных экологических факторов на рост микроорганизмов, сравнить скорость роста штаммов одного вида и определить оптимальные условия культивирования организма, поэтому является одним из важных критериев для скрининга штаммов, перспективных для дальнейшего практического использования в биотехнологии и растениеводстве.

Цель работы – изучение влияния продолжительности культивирования на радиальную скорость роста стрептомицетов, выделенных из ризосферы Melissa лекарственной (*Melissa officinalis* L.) и крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.).

Выбранные в качестве объектов исследования штаммы оценивались как перспективные (PGPR), так как сочетают как минимум два полезных для растений свойства.

Посев штаммов актиномицетов производили уколом в агаризованную среду Гаузе1 в девяти повторениях для каждого штамма. Посевы инкубировали при 28 °С. Диаметр выросших на чашках колоний измеряли на 3, 4, 7, 9 и 14 сутки (рис.).

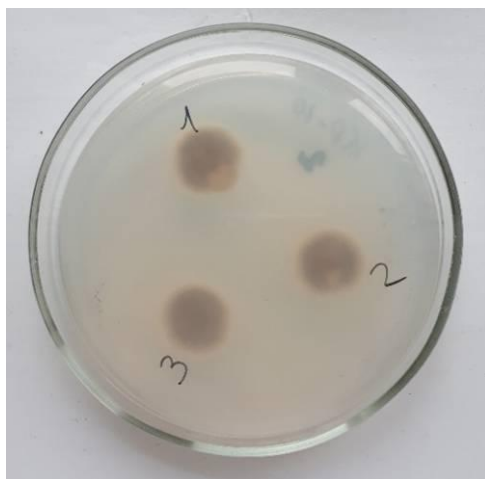


Рис. Колонии стрептомицетов на плотной питательной среде Гаузе1

Скорость роста рассчитывали по формуле:

$$Kr = (D_2 - D_1)/(t_2 - t_1),$$

где Kr – скорость роста, мкм/ч; D — диаметр колоний стрептомицетов, мкм; t – время инкубации, ч.

Скорость роста стрептомицетов, таким образом, определялась в различные временные промежутки периодического культивирования (табл.).

Радиальная скорость роста стрептомицетов на среде Гаузе 1

Штамм	K_r , мкм/ч (3–7 сутки)	K_r , мкм/ч (4–9 сутки)	K_r , мкм/ч (9–14 сутки)
МЕ-1	39,3±8,7	36,1±8,1	19,4±4,2
МЕ-2	45,1±10,4	33,3±4,2	19,4±4,2
МЕ-3	42,8±3,5	40,7±6,5	22,2±5,9
МЕ-6	45,1±7,4	42,6±2,8	31,5±3,7
КР-3	42,8±8,1	47,2±5,9	26,8±8,1
КР-10	47,4±10,6	65,7±8,8	37,9±7,3
Коэффициент вариации, V, %	5,8	23,9	25,8

Существенных различий в скорости освоения пространства среди ризосферных изолятов в первые 7 суток роста не выявлено. Показатель K_r изменялся от штамма к штамму в небольших пределах, о чем свидетельствует низкое значение коэффициента вариации – 5,8%. Большая дифференциация штаммов по кинетическим свойствам прослеживалась к 9 суткам инкубации: варьирование в зависимости от штамма значений K_r увеличилось более чем в 4 раза ($V = 23,9\%$). В этот временной период уже можно выделить наиболее быстрорастущие штаммы КР-10 ($K_r = 65,7 \pm 8,8$ мкм/час) и КР-3 ($K_r = 47,2 \pm 5,9$ мкм/час) из ризосферы крапивы и существенно уступающие им по скорости роста изоляты из ризосферы мелиссы МЕ-2 ($K_r = 33,3 \pm 4,2$ мкм/час) и МЕ-1 ($K_r = 36,1 \pm 8,1$ мкм/час).

К 14 суткам культивирования для всех штаммов стрептомицетов отмечено снижение K_r колоний, что может быть объяснено истощением питательных веществ в среде и накоплением продуктов обмена в периодической культуре. Но дифференциация штаммов по показателю K_r сохранялась, о чем свидетельствует высокий $V = 25,8\%$ в этот временной промежуток.

Таким образом, кинетические характеристики стрептомицетов целесообразно измерять в период их роста в периодической культуре от 4-х до 9-х суток. Более раннее определение не выявляет в полной мере межштаммовых различий, а более позднее – не позволяет установить максимальное значение скорости радиального роста, которую необходимо учитывать при оценке пригодности штамма в качестве агента биотехнологического процесса.

Библиографический список

1. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений / И. А. Тихонович, А. А. Завалин, Г. Г. Благовещенская, А. П. Кожемяков // Плодородие. 2011. № 3. С. 9–13.
2. Ломберг М. Л., Соломко Э. Ф. Рост культур макромицетов на агаризованных питательных средах и плотных субстратах // Биологические свойства лекарственных макромицетов в культуре Т. 2. 2012. С. 345–371.
3. Вплив екзометаболітів рослин різних сортів сої на швидкість радіального росту *Fusarium graminearum* / Л. В. Гаврилюк, Н. А. Косовська, А. І. Парфенюк, І. І. Мостов'як // Агроекологічний журнал. 2019. № 4. Р. 55–59. doi: 10.33730/2077-4893.4.2019.189454
4. Нелюбова В. В., Рыкунова М. Д., Карнаухова М. Д. Оценка фунгицидных свойств биоцидов по радиальной скорости роста колоний // Инновационные материалы и техноло-

гии в дизайне : тезисы докладов V Всерос. науч.-практ. конф. с участием молодых. СПб. : Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, 2019. С. 207–209.

5. Бактерицидная и фунгицидная активность Se(S), N-содержащих соединений и их влияние на скорость роста микромицетов – деструкторов промышленных материалов / С. А. Залепкина, В. Ф. Смирнов, А. В. Борисов, Ж. В. Мацулевич, О. Н. Смирнова, М. М. Артемьева // Фундаментальные исследования. 2015. № 10–1. С. 25–30.

6. Влияние питательных сред на морфолого-культуральные признаки штамма *Phytophthora* sp. De Bary / И. Л. Астапчук, М. В. Бардак, Г. В. Якуба, А. И. Насонов // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023. № 83 (5). С. 135–150. doi: 10.30679/2219-5335-2023-5-83-135-150

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЩЕЛЕЛИСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО

Н. А. Боков^{1,2}, И. Г. Широких²

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

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

В ходе работы изучено влияние времени культивирования и субстрата на целлюлазную активность *Shizophillum commune*. Наибольшая активность фермента (76,88 усл. ед./10 мин) наблюдалась при росте гриба в течение 14 суток на березовых опилках. Оценка фиторегуляторного действия гриба на модели проростков пшеницы выявила более чем 30% прирост по биомассе в результате обработки семян растения жидкой культурой гриба. Установлены антагонистические и индуцирующие морфогенез эффекты при совместном выращивании гриба *S. commune* с мицелиальными бактериями рода *Streptomyces*.

Ключевые слова: целлюлаза, время культивирования, фиторегуляторное действие, антагонизм, морфогенез, примордии.

Среди базидиальных грибов существуют виды, обладающие ценными биотехнологическими свойствами. К таким можно отнести щелелистник обыкновенный *Shizophillum commune* (Fr.). *S. commune* обычно встречается в лесах на деревьях, на кучах растительных отходов, принадлежит к группе ксилотрофных грибов и способен усваивать такие сложные полимеры как лигнин и целлюлозу, гемицеллюлозу [1]. О его способности продуцировать ферменты, разлагающие лигноцеллюлозу, впервые было сообщено в 1968 г. [2]. Затем были опубликованы работы по оптимизации продукции целлюлазы и ксиланазы и их биохимическая характеристика [3, 4], а также показана возможность производства этанола из древесной щепы путем биоферментации с использованием *S. commune* [5].

Из литературы также известно о производстве цитокинов и фитостимулирующей активности данного гриба [6], сообщалось об антагонистической

активности шизофиллума по отношению к фитопатогенным грибам [7]. Щелелистник также применяют в медицине, используют выделенный из него полисахарид шизофиллан, обладающий противоопухолевыми, антимикробными, противовоспалительными свойствами [8]. Из природных условий выделен в чистую культуру местный изолят ксилотрофного базидиального гриба *Shizophillum commune* (Fr.) OE 22 [9].

Цель работы – оценить наличие ценных биотехнологических свойств у местного изолята *S. commune* EO-22.

Определяли целлюлазную активность щелелистника на 4, 8, 12 и 14 сутки. Для культивирования использовали жидкую питательную среду следующего состава (г/л): K_2HPO_4 – 2, NaCl – 2, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 1, $MnSO_4$ – 0,05, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,05, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ – 2. В качестве единственного источника углерода использовали: МКЦ (микрористаллическую целлюлозу), солому, березовые и дубовые опилки в количестве 10 г на 1 литр. В колбы объёмом 250 мл с жидкой питательной средой (50 мл) вносили по 1 агаровому блоку с мицелием гриба, диаметром 10 мм. Для этого *S. commune* наращивали на плотной питательной среде Чапека в течение 7 дней при 28 °С.

Целлюлазную активность определяли в супернатанте спектрофотометрически (540 нм) с реактивом на основе динитросалициловой кислоты (ДНС) [10]. Активность фермента выражали в усл. ед./ (10 мин). За единицу активности принимали такое количество фермента, при действии которого на субстрат в условиях ферментативной реакции за 1 час образуется 1 μ моль редуцирующих сахаров в пересчете на глюкозный эквивалент.

Тест-культурой для оценки фиторегуляторного действия щелелистника служила пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.). Семена замачивали в ЖК гриба при разведениях 10^{-1} и 10^{-2} на 24 час, инкубировали при 28 °С. В контроле использовали семена, замоченные в дистиллированной воде. Обработанные семена проращивали в водно-бумажной рулонной культуре при комнатной температуре (20 ± 2 °С) в течение 6 суток. Учитывали всхожесть, длину корня, высоту побега и сухую биомассу проростков. В каждом варианте теста в рулоны закладывали по 100 семян.

Характер взаимодействия гриба со стрептомицетами выясняли конфронтационным методом. Различные штаммы рода *Streptomyces* выращивали в течение 7 сут при 28 °С на овсяном агаре, щелелистник – на среде Чапека, после чего блочки с мицелием гриба и стрептомицета помещали на противоположные стороны агаровой среды аналогичного состава в чашках Петри. Величину зон подавления роста гриба или появление примордиев отмечали через 5 сут совместной инкубации.

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

В ходе работы изучили влияние времени культивирования и субстрата на целлюлазную активность *S. commune*. На 4 сутки наибольшая целлюлазная активность наблюдалась в варианте с соломой, на 8 – на МКЦ, а на 14 – на березовых опилках. На трудно поддающихся разрушению субстратах пик

целлюлазной активности смещался на более позднее время по сравнению с более легкодоступными субстратами, такими как солома и МКЦ (табл. 1).

Таблица 1

**Целлюлазная активность *Shizophillum commune* ЕО-22
в зависимости от времени культивирования и типа субстрата**

Субстрат	Продолжительность культивирования, сут	Активность фермента, усл. ед./10 мин
МКЦ	4	45,4±11,61
Солома	4	59,6±36,55
Опилки березы	4	от 8,8 до 32,5
Опилки дуба	4	0
МКЦ	8	66,0±27,29
Солома	8	28,8±20,46
МКЦ	12	0
Солома	12	от 8,8 до 20,6
Опилки березы	14	от 27,5 до 184,4
Опилки дуба	14	от 13,1 до 86,9

При определении фиторегуляторного действия щелелистника на проростки пшеницы наилучшие результаты были достигнуты в результате обработки семян ЖК гриба в разведении 10^{-2} . Длина корня, побега и биомасса проростков были на 24,9, 8,8 и 30,4% больше, чем в контроле без обработки семян. В варианте с замачиванием семян в ЖК гриба в разведении 10^{-1} фитостимулирующий эффект также был отмечен, но менее выраженный (табл. 2).

Таблица 2

Фиторегуляторное действие *Shizophillum commune* ЕО-22

Вариант	Длина корня, мм	% от контроля	Длина побега, мм	% от контроля	Биомасса, г	% от контроля	Всхожесть, %	% от контроля
H ₂ O	92,1±11,4	–	36,25±5,2	–	0,23±0,1	–	85±7,7	–
<i>Shizophillum commune</i> 10 ⁻¹	104,6±8,3	113,6	36,44±5,6	100,52	0,29±0,02	126,09*	89±8,3	104,7
<i>Shizophillum commune</i> 10 ⁻²	115,0±5,5	124,9*	39,45±3,1	108,83	0,30±0,01	130,43*	86±9,5	101,2

Примечание: * отмечены значения, превосходящие контроль на 20% и более.

Наибольшую антагонистическую активность, определяемую конфронтационным методом, продемонстрировали штаммы *S. hygrosopicus* Н 27-25, *S. antimycoticus* 8A13, *S. castelarensis* A4, зоны подавления роста составили 18, 18 и 22 мм соответственно (табл. 3).

**Антагонизм и стимулирование роста *Shizophyllum commune*,
штаммами стрептомицетов**

Штаммы стрептомицетов	Зона подавления роста гриба вокруг блочка со стрептомицетом (мм)
<i>Streptomyces</i> sp. Т 2-20	3
<i>Streptomyces</i> sp. 3из7	0
<i>Streptomyces</i> sp. КЧ-7	0
<i>Streptomyces</i> sp. 2ls9	2
<i>S. castelarensis</i> А4	22
<i>Streptomyces</i> sp. КЧ-6	0
<i>Streptomyces</i> sp. КЧ-5	0
<i>Streptomyces</i> sp. КЧ-1	10
<i>Streptomyces</i> sp. 4ls3	14
<i>S. antimycoticus</i> П 15-2	15
<i>S. hygrosopicus</i> Н 27-25	18
<i>S. antimycoticus</i> 8А13	18

Стимулирующий морфогенез гриба эффект наиболее явно оказал штамм *Streptomyces* sp. КЧ-6, а штамм *Streptomyces* sp. КЧ-1, одновременно оказывал антагонистическое и морфогенное влияние, стимулируя образование примордиев у штамма ЕО-22 (рис.).

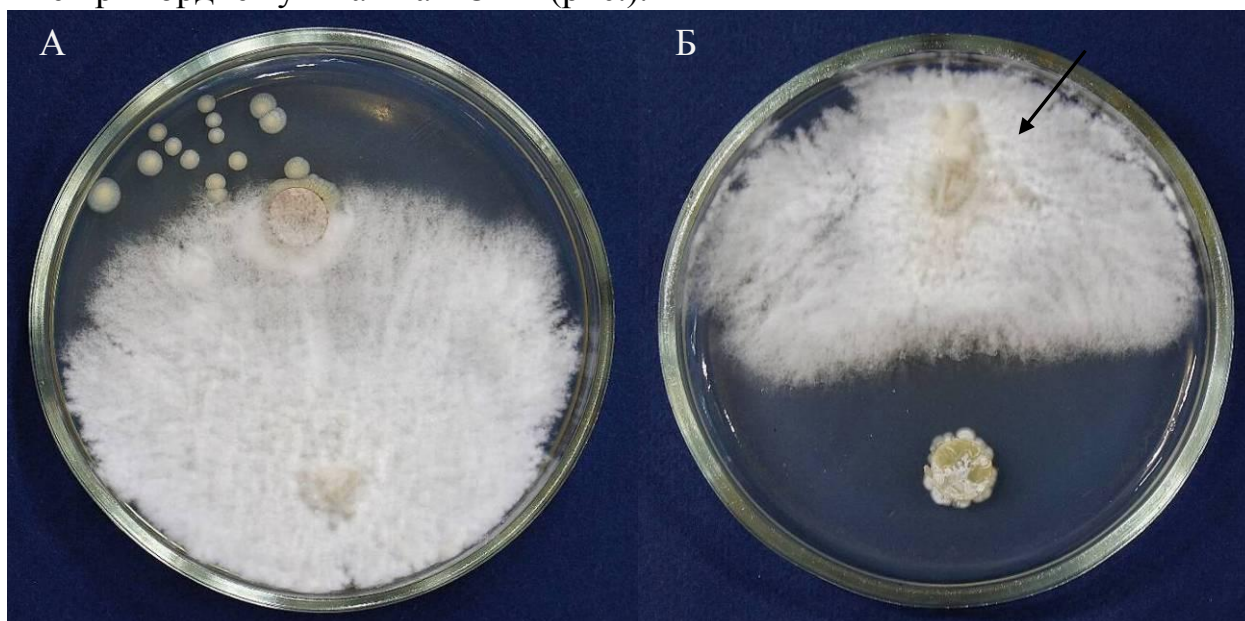


Рис. Стимуляция роста (А) и индукция морфогенеза (Б) в культуре гриба *Schizophyllum commune* под действием штаммов *Streptomyces* sp. КЧ-6 и *Streptomyces* sp. КЧ-1 соответственно

В результате *S. commune* ЕО-22 продемонстрировал не только высокую целлюлазную активность на трудногидролизуемых субстратах (березовый и дубовый опил), но и стимулировал рост проростков пшеницы, что может быть связано с продукцией фитогормонов. Результаты оценки характера взаимодействия щелелистника с рядом штаммов стрептомицетов показали воз-

возможность двойной реакции гриба. Так, были выявлены штаммы, подавляющие рост гриба (*S. castelarensis* А4, *S. hygrosopicus* Н 27-25, *S. antimycoticus* 8А13), за счет продукции антифунгальных соединений, а также штаммы (*Streptomyces* sp. КЧ-6, КЧ-1), стимулирующие в культуре гриба морфогенез – закладку примордий, очевидно, за счет продукции ауксиноподобных веществ.

В целом можно говорить о том, что шизофиллум является ценным биотехнологическим агентом, способным перерабатывать лигнин и гемицеллюлозу, стимулировать рост растений, а так же потенциально может быть использован в комбинированных биопрепаратах для применения в сельском хозяйстве.

Библиографический список

1. Characterization of cellulolytic enzyme system of *Schizophyllum commune* mutant and evaluation of its efficiency on biomass hydrolysis / W. Sornlake, P. Rattanaphanjak, V. Champreda, L. Eurwilaichitr // Biosci. Biotechnol. Biochem. 2017. Vol. 81. No. 7 P. 1289–1299. doi: 10.1080/09168451.2017.1320937
2. Jurasek L., Sopko R., Varadi J. Decomposition of beech wood holocellulose by supernatants of stationary cultures of wood destroying fungi // Ceska Mykol. 1968. Vol. 22. P. 43–49.
3. Studies on a wild strain of *Schizophyllum commune*: cellulase and xylanase production and formation of the extracellular polysaccharide Schizophyllan / W. Steiner, R. M. Lafferty, I. Gomes, H. Esterbauer // Biotechnol. Bioeng. 1987. Vol. 30. P. 169–178.
4. Haltrich D., Preiss M., Steiner W. Optimization of a culture medium for increased xylanase production by a wild strain of *Schizophyllum commune* // Enzyme. Microb. Technol. 1993. Vol. 15. P. 854–860. doi: 10.1016/0141-0229(93)90097-L
5. Direct ethanol production from cellulosic materials by consolidated biological processing using the wood rot fungus *Schizophyllum commune* / S. Horisawa, H. Ando, O. Ariga, Y. Sakuma // Bioresour. Technol. 2015. Vol. 197. P. 37–41. doi: 10.1016/j.biortech.2015.08.031
6. Микроорганизмы-продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение (обзор) / Е. Л. Цавкелова, С. Ю. Климова, Т. Л. Чердынцева, Л. И. Нетрусов // Прикладная биохимия и микробиология. 2006. Т. 42. № 2. С. 133–143.
7. Antifungal activity of medicinal mushrooms and optimization of submerged culture conditions for *Schizophyllum commune* (Agaricomycetes) / V. Berikashvili, T. Khardziani, A. Kobakhidze, M. Kulp // Int. J. Med. Mushrooms. 2023. Vol. 25. No. 10. P. 1–21. doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.2023049836
8. Лекарственные грибы в традиционной китайской медицине и современных биотехнологиях / Л. Юй, Т. Б. Хайин, А. А. Широких, И. Г. Широких, Т. Л. Егошина, Д. В. Кириллов; под общ. ред. В. А. Сысуева. Киров : О-Краткое, 2009. 320 с.
9. Широких А. А. Генетические особенности и биологический потенциал щелелистника обыкновенного // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 225–227.
10. Miller G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // Analytical Chemistry. 1959. Vol. 31. No. 3. P. 426–442. doi: 10.1021/ac60147a030

НАХОДКИ МИКСОМИЦЕТОВ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. А. Никифоров¹, А. А. Широких^{1,2}

¹ Вятский государственный университет, N.A.Nikiforoff@yandex.ru,

² Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени
Н. В. Рудницкого, aleshirokikh@yandex.ru

В работе представлены результаты первого целенаправленного исследования видового разнообразия миксомицетов в Архангельской области. В полевых условиях и методом «влажных камер» зафиксировано 18 видов Mucomycetes, 12 из них приведены для лесных экосистем средней и северной тайги Архангельской области впервые.

Ключевые слова: миксомицеты, слизевики, лесные экосистемы, видовое разнообразие, инвентаризация.

Одним из важных объектов мониторинга естественных экосистем являются представители микромира. Микроорганизмы представляют собой движущую силу геохимических процессов, процессов почвообразования и активно влияют на формирование и эволюцию природных сообществ. Плазмодияльные слизевики, или миксомицеты – небольшая, но широко распространенная в природе группа спорообразующих протистов, занимающих доминирующее положение в сапротрофной микробиоте бореальных лесов. Эти организмы являются важным элементом структуры лесных экосистем.

Несмотря на продолжительную историю изучения миксомицетов в России, сведения об их распространении и видовом разнообразии остаются фрагментарными, а география исследований отличается явной неравномерностью [1]. Большинство регионов и поныне остаются «белым пятном», представляя тем не менее широкие перспективы для изучения биогеографии и экологии слизевиков. В числе таких регионов можно назвать и Архангельскую область.

Разнообразие миксомицетов в Архангельской области никогда прежде не изучалось целенаправленно. До настоящего времени наука располагала информацией лишь о 8 видах миксомицетов, зафиксированных Л. А. Лебедевой при инвентаризации высших грибов Карелии и сопредельных территорий в 1933 г.: *Cribraria argillacea* (Pers. ex J.F.Gmel.) Pers., *Diderma niveum* (Rostaf.) E.Sheld., *Fuligo septica* (L.) F.H.Wigg., *Lycogala epidendrum* (L.) Fr., *Mucilago crustacea* F.H.Wigg., *Stemonitis fusca* Roth, *Trichia varia* (Pers. ex J.F.Gmel.) Pers., *Tubifera ferruginosa* (Batsch) J.F.Gmel. [2].

Исследование видового разнообразия миксомицетов проводилось в сентябре 2023 г. на трех участках – в окрестностях г. Корьяма, г. Онега и на острове Мудьюг. Территория первого располагается в подзоне средней тайги, двух других – в подзоне северной тайги. Остров Мудьюг расположен в юго-восточной части Двинской губы, в 40 км от Архангельска. На территории

острова действует Государственный природный ландшафтный заказник регионального значения «Мудьюгский».

Инвентаризационные исследования слизевиков основаны на комплексном применении методов полевого сбора спороношений и получения их в условиях лаборатории – метод «влажных камер». Идентификация миксомицетов осуществляется по морфологическим признакам спороносных структур с использованием ряда специализированных определителей [3–5].

В ходе полевых исследований 3-х участков были обнаружены спороношения представителей 17 видов Mухомycetes. Методом «влажных камер» получены и идентифицированы спороношения 2 видов. Представленный ниже аннотированный список содержит информацию о месте и способе обнаружения спороношений, типе лесной ассоциации, характере субстрата и особенностях формирования колонии миксомицетов.

Arcyria cinerea (Bull.) Pers.: Коряжма, в сосняке черничном, на разлагающейся древесине *Pinus sylvestris*, крупными колониями; Онега, во влажной камере, на коре *Betula pendula*;

Arcyria obvelata (Oeder) Onsberg: Коряжма, в сосняке чернично-багульниковом, на разлагающейся древесине *Pinus sylvestris*, крупной колонией;

Cribraria microcarpa (Schrad.) Pers.: Мудьюгский, Онега во влажных камерах, на древесине *Pinus sylvestris*;

Fuligo leviderma H.Neubert, Nowotny et K.Baumann: Коряжма, Онега, Мудьюгский, в сосняках черничном, беломошном, в ельнике кисличном на древесине и коре *Populus tremula* и *Betula pendula*, одиночными эталиями;

Fuligo septica (L.) F.H.Wigg.: Коряжма, в сосняке чернично-багульниковом, на древесине *Pinus sylvestris*; Онега, в ельнике черничном, на коре *Betula pendula*; одиночными эталиями;

Leocarpus fragilis (Dicks.) Rostaf.: Коряжма, Онега, в сосняках черничных, на мху, небольшими колониями;

Lycogala epidendrum (L.) Fr.: Коряжма, Онега, Мудьюгский, в сосняках черничном, беломошном, в ельнике черничном, в осиннике, на древесине и коре *Betula pendula*, *Populus tremula* и *Pinus sylvestris*, небольшими колониями;

Mucilago crustacea F.H.Wigg.: Коряжма, в сосняке черничном, в опаде;

Physarum album (Bull.) Chevall.: Коряжма, в сосняке черничном, на древесине *Pinus sylvestris* и *Populus tremula*, небольшими колониями;

Physarum nutans Pers.: Онега, в ельнике кисличном, на коре *Betula pendula*, небольшой колонией;

Physarum viride (Bull.) Pers.: Коряжма, в ельнике черничном, на древесине и коре *Picea sp.* небольшой колонией;

Reticularia lycoperdon Bull.: Мудьюгский, в березняке, на коре *Betula pendula*, одиночными эталиями;

Stemonitis axifera (Bull.) T.Macbr.: Коряжма, Онега, в сосняках черничном, чернично-багульниковом, на древесине и коре *Pinus sylvestris*, крупными колониями;

Stemonitis fusca Roth: Коряжма, Онега, в сосняках и ельнике черничных, на древесине и коре *Pinus sylvestris* и *Picea sp.*, крупными колониями;

Stemonitopsis typhina (F.H.Wigg.) Nann.-Bremek.: Коряжма, в сосняке черничном, в ельнике кисличном, на древесине *Pinus sylvestris* и *Populus tremula*, крупными колониями;

Trichia decipiens (Pers.) T.Macbr.: Коряжма, Онега, Мудьюгский, в сосняках черничном, беломошном, в ельнике кисличном, на древесине *Betula pendula*, *Pinus sylvestris* и *Picea sp.* крупными колониями;

Trichia varia (Pers. ex J.F.Gmel.) Pers.: Коряжма, в сосняке черничном, в ельнике кисличном на древесине *Pinus sylvestris* и *Populus tremula*, небольшими колониями;

Tubifera ferruginosa (Batsch) J.F.Gmel.: Мудьюгский, в сосняке беломошном, в березняке, на древесине *Betula pendula*, одиночными псевдоэталлиями;

Спороношения *Arcyria cinerea* были зафиксированы при помощи обоих методов в составе ксилобионтного и кортикулоидного субстратных комплексов. Не были идентифицированы не перешедший к споруляции плазмодий из влажной камеры Md.FL-2 и спорокарпы из влажной камеры Md.C-3:

Ignotus № 2.: Мудьюгский, во влажной камере, подстилочный субстратный комплекс, на хвойном опаде, оранжевый фанероплазмодий;

Ignotus № 3.: Мудьюгский, во влажной камере, ксилобионтный субстратный комплекс, на коре сосны, мелкие спорокарпы, до 1 мм, предположительно аберрантная форма *Arcyria cinerea*.

Таким образом, в результате рекогносцировочного исследования трех участков тайги средней и северной подзон методами полевых сборов и «влажных камер» обнаружены спороношения 18 видов, относящихся к 12 родам и 7 семействам (*Arcyriaceae*, *Cribrariaceae*, *Physaraceae*, *Reticulariaceae*, *Didymiaceae*, *Trichiaceae*, *Stemonitidaceae*) класса *Muchomycetes*. 12 из них описаны для территории Архангельской области впервые. Новые данные не являются исчерпывающими, но показывают высокий потенциал исследований видового разнообразия миксомицетов. Перспективным является осуществление систематических исследований на территории ключевых ООПТ Архангельской области с целью раскрытия особенностей экологии, биогеографии и таксономической структуры местной миксобиоты в сезонной и климатической динамике.

Библиографический список

1. *Muchomycetes of Russia: a history of research and a checklist of species* / F. M. Bortnikov, A. V. Matveev, V. I. Gmshinskiy, Yu. K. Novozhilov, I. V. Zemlyanskaya, A. V. Vlasenko, M. Schnittler, O. N. Shchepin, N. A. Fedorova // *Karstenia*. 2020. Vol. 58. No. 2. P. 316–373. doi:10.29203/ka.2020.502

2. Лебедева Л. А. Грибы и миксомицеты Советской Карелии // Труды Ботанического института АН СССР. Сер.2. Споровые растения. 1933. Вып. 1. С. 239–403.
3. Новожилов Ю. К. Определитель грибов России: Отдел Слизевки. СПб. : Наука, 1993. 288 с.
4. Neubert H., Nowonty W., Baumann K. Die Mухomyceten Deutschlands und des angrenzenden Alpenraumes unter besonderer Berücksichtigung Osterreichs – Gomaringen : Baumann, 1995. Bd. 2. Physarales. 368 p.
5. Гмошинский В. И., Дунаев Е. А., Киреева Н. И. Определитель миксомицетов Московского региона : учебно-методическое пособие. М.: Культурно-просветительский центр Архэ, 2021. 388 с.

НОВЫЕ ИЗОЛЯТЫ РОДА *TRICHODERMA* КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АГЕНТЫ БИОКОНТРОЛЯ

**П. А. Стариков¹, Л. И. Домрачева^{1,2}, Т. К. Шешегова³,
Л. М. Щеклеина³**

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
ya.starikov-pavel@yandex.ru,
² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
³ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, immunitet@fanc-sv.ru

Исследованы свойства новых штаммов микромицетов р. *Trichoderma* с высокой антагонистической активностью, изолированных с плодовых тел трутовиков и из почвы. На основе лабораторных опытов определена способность изолятов стимулировать рост и развитие проростков яровой пшеницы.

Ключевые слова: пшеница яровая, *Trichoderma*, *Fusarium*, фузариоз, антагонизм.

В настоящее время наиболее распространенный метод снижения вредности инфекционных болезней сельскохозяйственных растений – это использование ядохимикатов, но в случае значительного распространения инфекции усиленная пестицидная нагрузка может привести к неблагоприятным экологическим последствиям [1]. Применение микробов-антагонистов, наряду с возделыванием сортов с селекционированной устойчивостью, является актуальной задачей в рамках экологизации земледелия [2].

К основным продовольственным сельскохозяйственным культурам РФ относится пшеница, поэтому для ее возделывания наиболее актуально научное обоснование биологизированных элементов агротехнологий [3]. Одна из ключевых проблем возделывания злаковых культур на территории Кировской области связана с поражением растений возбудителями фузариоза [4]. В качестве перспективных биоагентов для защиты злаков от *Fusarium* spp. и других фитопатогенов могут использоваться грибы рода *Trichoderma* [5, 6]. Кроме того, данная группа микромицетов обладает способностью к стимуляции ро-

ста и развития растений за счёт их гормональной регуляции и мобилизации труднодоступных питательных элементов [7–9]. Поэтому изучение биологического потенциала триходермы является перспективной задачей современного земледелия.

Цель данной работы – оценить антифунгальные свойства грибов р. *Trichoderma* и их фитотоксичность в отношении растений пшеницы.

Объектами исследования выступали штаммы, по морфокультуральным свойствам соответствующие роду *Trichoderma* [10]. Изоляты были выделены из почв, с коры деревьев и плодовых тел трутовиков. Для оценки антифузариозной активности триходермы и искусственного заражения семян в лабораторном опыте применяли высокопатогенный штамм *Fusarium culmorum* Р-з/16, изолированный из зерна озимой ржи (2016 г.) сотрудниками лаборатории иммунитета и защиты растений ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого. Тест-культурой являлась пшеница яровая сорта Баженка. Серия опытов, методика и полученные результаты будут описаны далее.

Антагонистические свойства *Trichoderma* spp. исследовали методом двойных культур на чашке Петри. Культуры микромицетов высевали одновременно уколом в агаризованную среду Чапека. Опыт проводили в трёх повторностях. Культивировали при температуре 24 ± 1 °С в течение 13 суток и оценивали динамику роста исследуемых изолятов (рис. 1).

Результаты опыта показали, что наибольшую антифузариозную активность при исследовании методом встречных культур проявляет штамм К-01П, который выделен из почвенного образца, отобранного у берега реки Мостовицы в микрорайоне «Чистые пруды» города Кирова. *Trichoderma* sp. К-01П, по-видимому, обладает контактным механизмом фунгицидной активности, что проявляется в виде его гипепаразитических свойств (рис. 1). Штамм К-02Т проявил паразитическую активность по отношению к *Fusarium culmorum* в гораздо меньшей степени, но также показал способность останавливать развитие культуры патогена после сближения на чашке Петри. Кроме того, в предыдущей серии лабораторных опытов методом диффузии в агар показана способность изолята К-02Т вызывать лизис мицелия фузариума [11].

Остальные изоляты, например, КГ54-43, не проявили антагонистических свойств в отношении тест-культуры: рост *Fusarium culmorum* продолжался даже после контакта с колонией триходермы.

Таким образом, по результатам первичного скрининга изолятов *Trichoderma* spp. были отобраны два перспективных штамма К-01П и К-02Т, которые использовались для дальнейших лабораторных опытов.

Потенциальную фитотоксичность оценивали методом культуры на чашках Петри. В качестве тест-культуры использовали востребованный в производстве сорт яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Баженка.

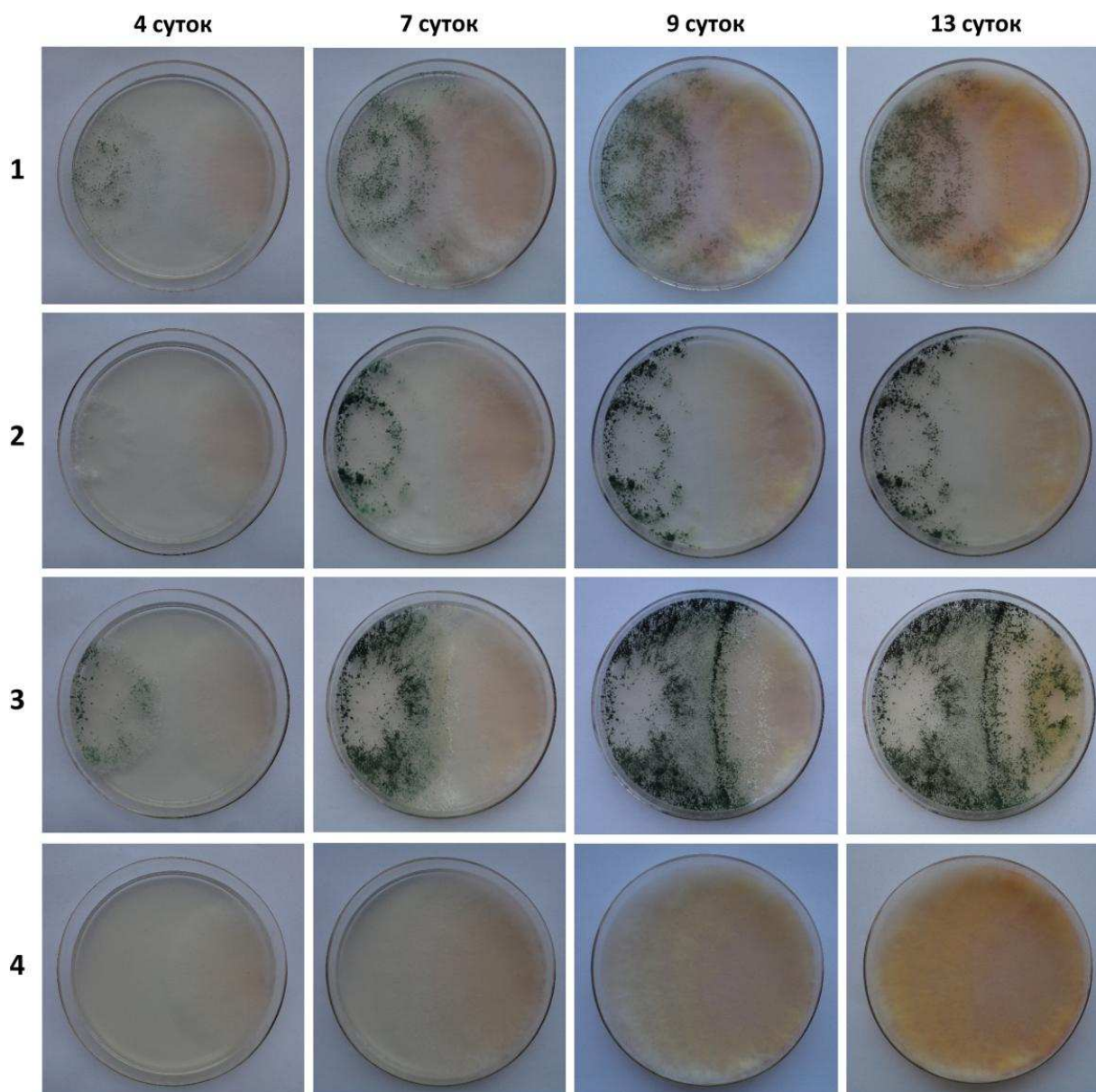


Рис. 1. Антагонистическая активность *Trichoderma* spp. в отношении *Fusarium culmorum* P/з-16 в динамике после 4-х суток совместного культивирования: 1 – КГ54-43, 2 – К-02Т, 3 – К-01П, 4 – контроль

В каждую чашку раскладывали по 2 диска фильтровальной бумаги. Чашки с бумагой стерилизовали путем автоклавирования. Семена замачивали на 2 часа в споровых суспензиях.

Варианты опыта: 1) контроль – замачивание в воде; 2) *Trichoderma* sp. К-01П; 3) *Trichoderma* sp. К-02Т; 4) *F. culmorum* P/з-16.

Титр микромицетов *Trichoderma* spp. составлял $2,0 \cdot 10^7$ конидий/мл и *Fusarium culmorum* P-з/16 – $4,15 \cdot 10^6$ макроконидий/мл. Титры суспензий конидий микромицетов определяли путем подсчета в камере Горяева в 4-х повторностях. В контроле семена замачивали в воде. Опыт проводили в 3-х повторностях по 20 семян. Фильтры смачивали 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 24 ± 1 °С.

При снятии опыта промеряли длину корней и высоту проростков, определяли всхожесть и уровень грибного поражения. 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 программы Microsoft Office Excel 2010.

Результаты опыта показывают, что выбранная партия семян характеризуется высокой всхожестью – от 95% до 100%.

Анализ морфометрических результатов показывает, что наиболее объективным критерием оценки состояния растений является интегрированный показатель – индекс роста, при вычислении которого учитываются такие параметры, как всхожесть, длина корня и высота побега. Максимальная величина этого показателя зарегистрирована в вариантах с инокуляцией семян *Trichoderma* sp. К-01П (табл.).

Таблица

Влияние микромицетов на морфометрические параметры проростков и всхожесть семян пшеницы

Вариант опыта	Высота стебля, мм; ± к контролю	Длина корня, мм; ± к контролю	Всхожесть, %	Поражение грибами, %	Индекс роста; ± к контролю
Контроль	44,34±1,51	87,34±7,80	96,7	0	12762±1602
<i>Trichoderma</i> sp. К-01П	52,18±0,95; +7,87	91,25±2,50; +3,91	100,0	0	14343±225; +1581
<i>Trichoderma</i> sp. К-02Т	52,11±0,95; +7,77	92,81±1,06; +5,47	95	0	13767±87; +1005
<i>F.culmorum</i> P/3-16	20,1±4,95; –24,24	42,03±5,76; –45,31	100,00	100	6213±1071; –6549

Примечание: в таблице представлены средние значения параметров и их стандартные отклонения. Наибольшие значения показателей выделены жирным шрифтом. Таблица составлена на основании собственных исследований.

В варианте с искусственным заражением семян *F. culmorum* отмечается 100%-ное поражение проростков. Это подтверждает патогенность данного микромицета в отношении исследуемого сорта яровой пшеницы. В этом же варианте наблюдается и минимальная величина индекса роста.

При обработке семян штаммами триходермы наблюдается увеличение высоты надземной части растения на 17% относительно контроля, а также незначительное возрастание длины корней на 4,5% (штамм К-01П) и 6,5% (штамм К-02Т) (рис. 2). Это свидетельствует об отсутствии фитотоксичности исследуемых изолятов р. *Trichoderma*.

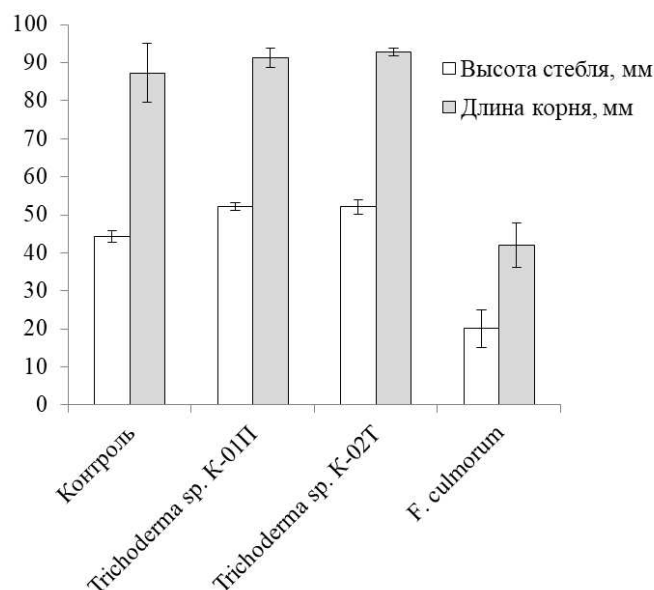


Рис. 2. Морфометрические показатели проростков пшеницы после обработки семян суспензиями микромицетов

Таким образом, результаты опытов показали, что изоляты триходермы, показывающие антифузариозную активность, не являются фитотоксичными в отношении проростков яровой пшеницы и могут использоваться в дальнейших полевых опытах на данной культуре.

Библиографический список

1. Perveen K., Bokhari N. A. Antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* isolated from soil of date palm field against *Fusarium oxysporum* // African Journal of Microbiology Research. 2012. Vol. 6. No. 13. P. 3348–3353. doi: 10.5897/AJMR12.247
2. Микробы-антагонисты против фитопатогенных бактерий и грибов (обзор) / Л. И. Домрачева, С. Г. Скугорева, П. А. Стариков, Е. А. Горностаева, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 6–14. doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-006-014
3. Продуктивность яровой пшеницы на фоне микробной инокуляции семян / Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина, П. А. Стариков, Л. В. Волкова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 2. Киров : Вятский государственный университет, 2023. С. 162–169.
4. Домрачева Л. И., Трефилова Л. В., Фокина А. И. Фузариоз: биологический контроль, сорбционные возможности. Saarbrücken : LAP LAMBERT, 2013. 182 с.
5. *Trichoderma*: the «secrets» of a multitasking biocontrol agent / M. Sood, D. Kapoor, V. Kumar, M. S. Sheteiwy, M. Ramakrishnan, M. Landi, F. Araniti, A. Sharma // Plants (Basel). 2020. Vol. 9. No. 6. P. 762. doi: 10.3390/plants9
6. Цианобактериальные симбиозы и возможность их практического использования (обзор) / Л. И. Домрачева, А. Л. Ковина, Л. В. Кондакова, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 21–30. doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-021-030
7. Экзометаболиты почвенных цианобактерий как стратегия выживания в естественных и техногенно нарушенных экосистемах / Л. И. Домрачева, А. И. Фокина, А. Л. Ковина, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 15–23. doi: 10.25750/1995-4301-2019-4-015-023

8. L. Hoyos-Carvajal, S. Orduz, J. Bissett. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by *Trichoderma* // Biol. Control. 2009. Vol. 51. No. 3. P. 409–416. doi: 10.1016/j.biocontrol.2009.07.018

9. Phosphate solubilization by *Trichoderma koningiopsis* (NBRI-PR5) under abiotic stress conditions / A. Tandon, T. Fatima, Anshu, D. Shukla, P. Tripathi, S. Srivastava, P. C. Singh // J. King Saud University – Science. 2020. Vol. 32. No. 1. P. 791–798. doi: 10.1016/j.jksus.2019.02.001

10. Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов / пер. с англ. К. Л. Тарасова, Ю. Н. Ковалева; под ред. И. Р. Дорожкиной. М. : Мир, 2001. 468 с.

11. Стариков П. А., Шешегова Т. К. Скрининг изолятов *Trichoderma* spp., перспективных для биоконтроля *Fusarium culmorum* // Микроорганизмы и плодородие почвы. Киров : Вятский ГАТУ, 2022. С. 128–131.

РОСТРЕГУЛИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ БАКТЕРИИ *BACILLUS MYCOIDES*, СОХРАНИВШЕЙСЯ НА КОРНЯХ ГЕРБАРНОГО ОБРАЗЦА ПТИЦЕМЛЕЧНИКА

А. И. Коротких¹, Е. Л. Трухина¹, Л. И. Домрачева^{1,2}

¹Вятский государственный агротехнологический университет,
trukhina_97@bk.ru,

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

В статье приводятся результаты сравнительной рострегулирующей активности *Bacillus subtilis* (биопрепарат Фитобактерин) и чистой бактериальной культуры *Bacillus mycooides*, выделенной с корней гербаризированного в 1964 г. образца птицемлечника зонтичного (*Ornithogalum umbellatum* L.). Установлено, что гербарная бактериальная культура способна конкурировать с испытуемыми биопрепаратами и может в перспективе служить в качестве альтернативного источника получения физиологически активных веществ для стимулирования прорастания и развития ярового ячменя.

Ключевые слова: гербарий, *Bacillus mycooides*, Фитоспорин, яровой ячмень.

В настоящее время поиску путей повышения продуктивности сельскохозяйственных культур уделяется особое внимание. Применение стимуляторов роста растений является одним из перспективных и эффективных направлений повышения их урожайности [1]. Ростстимуляторы способны влиять на физиологические и биохимические процессы, которые протекают в растительном организме, тем самым ускоряя наступление фенологических фаз, сокращая вегетационный период в целом [2]. Несмотря на широкое распространение стимуляторов роста растений искусственного происхождения, значительным достижением является раскрытие роли природных биологически активных соединений в регуляции роста и развития растений.

К стимуляторам роста природного происхождения относят фитогормоны (цитокинины, ауксины, этилен, гиббереллины и др.), ингибиторы негормональной природы (некоторые фенолы, производные мочевины и др.). Источником таких физиологически активных веществ могут служить бактерии, грибы и лишайники, которые выделяют их в процессе своей жизнедеятельности [3, 4].

На сегодняшний день спектр биостимуляторов, направленных на повышение всхожести и ускорение роста растений довольно широк, так как растет тенденция к использованию органического земледелия. Поэтому, актуален поиск новых, альтернативных биологических источников физиологически активных веществ, направленных на увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, сокращение сроков созревания, повышение питательной ценности, улучшение устойчивости к болезням, заморозкам, засухе и другим неблагоприятным факторам [5].

Для получения биологически активных веществ, в том числе и стимуляторов роста, используются как сертифицированные препараты, содержащие культуры различных микроорганизмов, так и активно ведется поиск новых продуцентов, которые выделяют из различных сред обитания (почвы, воды, растений). В последние годы одним из источников выделения микробов-продуцентов стали гербарные образцы, на которых сохраняются бактерии и микромицеты не утратившие своих физиолого-биологических свойств [6].

Цель работы – сравнить рострегулирующую активность *Bacillus mycoides* из гербарного образца птицемлечника зонтичного и *Bacillus subtilis* из препарата Фитобактерин в модельном опыте при выращивании ярового ячменя.

Объектами исследования были семена *Hordeum vulgare* L. сорта Родник Прикамья 2022 г. урожая, чистая культура *B. mycoides*, выделенная с корней гербарного образца растения семейства Лилейные (Liliaceae) птицемлечника зонтичного (*Ornithogalum umbellatum* L.) 1964 г. и *B. subtilis* из препарата Фитобактерин.

При выращивании ячменя использовали метод рулонных культур, помещённых в пластиковые контейнеры, в 4-х кратной повторности из расчёта 20 семян на рулон. Контролем был вариант с помещением рулонных культур в дистиллированную воду [7, 8].

В первом опытном варианте семена ячменя замачивали в 10 мл приготовленного по инструкции раствора биопрепарата Фитобактерин. Для второго и третьего вариантов опыта изготовили бактериальные суспензии в соответствии с отраслевым стандартным образцом мутности бактериальных взвесей серии S-2/5-010719 на 10 микробных единиц (МЕ) и 5 МЕ соответственно (10 МЕ соответствует концентрации $0,11 \cdot 10^9$ КОЕ/мл, 5 МЕ соответствует концентрации $0,055 \cdot 10^9$ КОЕ/мл) [9, 10].

Затем семена помещали пинцетом непосредственно на влажную фильтровальную бумагу. Для дальнейшего увлажнения использовали также дистиллированную воду. При снятии опыта определяли морфометрические по-

казатели ячменя: всхожесть, длину корней, высоту проростков и индекс роста по формуле:

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

где I – индекс роста (условные единицы), R – суммарное значение длины корней (см), P – суммарное значение длины проростков (см), D – доля проросших семян (%).

Кроме того, определяли активность каталазы газометрическим методом [11, 12].

Результаты опыта показали, что наивысшей рострегулирующей активностью обладает микробная суспензия *B. mycooides* 10 МЕ (78%) по сравнению с контролем (45%), что проявляется как в стимуляции роста и развития ячменя, так и в таком физиологическом показателе, как каталазная активность (табл. 1, 2). Данная концентрация бактерий оказалась достаточной для воздействия их экзометаболитов на центры активации роста и дальнейшего развития проростков ячменя. Всхожесть в варианте с препаратом Фитобактерин оказалась чуть ниже варианта суспензии *B. mycooides* 10 МЕ (60%).

Доминирование варианта с обработкой суспензией *B. mycooides* 10 МЕ подтверждается и биометрическими показателями: длиной корней и высотой проростков, где оба показателя превышают контроль практически в 2 раза. Значение индекса роста также максимально в данном варианте (1620 у. е.).

Таблица 1

Влияние биологических ростстимуляторов на рост и развитие ячменя

Вариант	Всхожесть, % D	Длина корня, см R	Высота проростка, см P	Индекс роста, условные единицы I
Контроль	45,0	6,1±1,0	5,6±0,8	526,5
Фитобактерин	60,0	6,4±1,2	5,6±1,0	720,0
Суспензия <i>B. mycooides</i> 5 МЕ	30,0	7,5±0,8	6,2±1,1	411,0
Суспензия <i>B. mycooides</i> 10 МЕ	78,3	10,1±0,6	10,6±0,2	1620,2

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные значения показателей.

В этом же варианте (*B. mycooides* 10 МЕ) зафиксировано и максимальное значение активности каталазы, с превышением по сравнению контролем в 7 раз. Также эквивалентным по значению оказался вариант с инокуляцией семян суспензией *B. mycooides* 5 МЕ.

Таблица 2

Активность каталазы в проростках ячменя

Вариант	Активность каталазы, см ³ O ₂ / (сек · г ткани)
Контроль	0,02±0,004
Фитобактерин	0,08±0,006
Суспензия <i>B. mycooides</i> 5 МЕ	0,13±0,01
Суспензия <i>B. mycooides</i> 10 МЕ	0,14±0,03

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные значения показателей.

Таким образом, доказана возможность использования гербарной культуры *B. mycooides* в качестве рострегулирующего агента. Показано, что концентрация суспензии *B. mycooides*, равная $0,11 \cdot 10^9$ КОЕ/мл ускоряет рост ячменя по длине корней, высоте проростка и соответственно индексу роста. Данная концентрация бактериальной суспензии *B. mycooides* обладает более высокой активностью, по сравнению с препаратом Фитобактерин по всем морфометрическим показателям.

Определение активности каталазы с максимальной величиной этого показателя в суспензии *B. mycooides* свидетельствуют о влиянии суспензии *B. mycooides* не только на морфометрические показатели, но и на физиологическую активность проростков ячменя, что может быть одной из причин ускорения роста проростков. Следовательно, чистую культуру *B. mycooides*, выделенную с поверхности корней гербарного образца птицемлечника зонтичного, можно рассматривать в качестве микроба-продуцента при выращивании зерновых культур.

Библиографический список

1. Biostimulants as plant growth stimulators in modernized agriculture and environmental sustainability / M. A. Bashir, A. Rehim, Q.U.A. Raza, H. Muhammad, A. Raza, L. Zhai, H. Liu, H. Wang // *Technology in Agriculture*. 2021. P. 1–12. doi: 10.5772/intechopen.98295
2. Данилов А. В. Влияние стимуляторов роста на урожайность и качество продукции зерновых культур // *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2017. Т. 3. № 1 (9). С. 28–32.
3. Рост и развитие люпина узколистного в присутствии лишенобиоты / Л. И. Домрачева, С. Г. Скугорева, А. И. Коротких, Ю. С. Забубенина, Л. В. Трефилова, А. Л. Ковина, Е. А. Домнина, А. С. Тимонов // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 2. С. 183–188. doi: 10.25750/1995-4301-2021-2-183-188
4. Влияние мульчи лишайников на рост фасоли обыкновенной / А. И. Коротких, А. Л. Ковина, Л. В. Трефилова, С. Г. Скугорева, Ю. С. Забубенина, П. А. Стариков, Л. И. Домрачева // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 291–294.
5. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants // *Plant Soil*. 2014. Vol. 383. P. 3–41. doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8
6. Гербарии как хранители биоразнообразия и их использование (обзор) / Л. И. Домрачева, А. Л. Ковина, А. И. Коротких, С. Г. Скугорева, Т. Я. Ашихмина // *Теоретическая и прикладная экология*. 2023. № 3. С. 6–20. doi: 10.25750/1995-4301-2023-1-006-015
7. Биотестирование с использованием *Hordeum vulgare* L. В оценке состояния урбаноземов г. Кирова / С. Г. Скугорева, М. А. Бушковская, Л. В. Трефилова, Ю. Н. Зыкова // *Почвы и их эффективное использование : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, профессора Владимира Владимировича Тюлина*. Киров : Вятская ГСХА, 2018. С. 82–88.
8. Влияние биопрепаратов на яровой ячмень Белгородский 100 / С. А. Емелев, А. В. Помелов, М. В. Черемисинов, Г. П. Дудин // *Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Киров : Вятский государственный университет, 2019. С. 203–208.

9. *Pseudomonas* spp. для стимуляции роста растений семейства пасленовые / Л. Р. Хакимова, О. В. Чубукова, З. Р. Вершинина, Д. Р. Масленникова, А. Р. Мурясова, Е. В. Симороз, А. К. Чумакова, К. Р. Насырова // Известия Уфимского научного центра РАН. 2022. № 2. С. 24–28. doi: 10.31040/2222-8349-2022-0-2-24-28

10. Бухманова А. А., Еланский С. Н., Чудинова Е. М. Поиск штаммов грибов для создания биопрепаратов защиты и стимуляции роста растений томата // Инновационные процессы в сельском хозяйстве : сб. тезисов XIV междунар. науч.-практ. конф. М. : Российский университет дружбы народов (РУДН), 2022. С. 112–117.

11. Панкратова Е. М. Практикум по физиологии растений с основами биологической химии. М. : Колос С, 2011. 175 с.

12. Активность каталазы травянистых растений в условиях загрязнения городской среды / А. С. Петухов, Н. А. Хритохин, Т. А. Кремлева, Г. А. Петухова // Самарский научный вестник. 2019. Т. 8. № 1 (26). С. 90–95. doi: 10.24411/2309-4370-2019-11115

ЧИСЛЕННОСТЬ, БИОМАССА И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА МИКРОМИЦЕТОВ В ПОДСТИЛКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ (*PINUS CONTORTA* DOUGL.)

В. А. Ковалева, Ю. А. Виноградова, Т. А. Пристова, А. Л. Федорков
*Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
kovaleva@ib.komisc.ru*

Проведены исследования численности видового разнообразия культивируемых микромицетов в подстилке 20-летних экспериментальных культур сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.). Культуры созданы на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного использования. Выделено 17 видов микроскопических грибов из 9 родов. Установлено, что биомасса микроскопических грибов в исследуемых подстилках небольшая и составляет 0,75 мг/г абсолютно сухой почвы.

Ключевые слова: экспериментальные культуры, *Pinus contorta* Dougl., лесная подстилка, микромицеты, биологическое разнообразие, микробная биомасса

Лесная подстилка – важный компонент лесной экосистемы, в ней концентрируются органические питательные вещества и формируются благоприятные гидротермические условия для роста и развития почвенных микроорганизмов, которые играют важную роль в преобразовании почвенного органического вещества и круговороте питательных веществ в почве [1–3]. Высокое содержание труднорастворимых органических соединений и наличие бактерицидных веществ в древесном опаде, высокая кислотность почвы обуславливают доминирующее положение микроскопических грибов в почвенном микробоценозе лесных экосистем. Микромицеты, благодаря мощному ферментативному аппарату, обеспечивают минерализацию труднодоступных

полимерных органических соединений в процессе разложения лесной подстилки [4–6]. Качественные и количественные показатели сообщества микромицетов являются индикаторами направления и скорости почвенных процессов при естественном и искусственном лесовосстановлении [7–9]. Исследования, проведенные в Швеции, показали, что сосна обыкновенная, по сравнению с сосной скрученной, в искусственных насаждениях производит меньше подстилки и имеет более высокую начальную скорость разложения опада. Эти различия в свойствах подстилки и опада вызывают изменения в микробиологических свойствах почвы [10]. В отечественной литературе мы не обнаружили работ, посвящённых микромицетным комплексам в подстилке культур сосны скрученной.

Экспериментальные культуры сосны скрученной созданы на участке в Сторожевском лесничестве Республики Коми (61°53' с. ш. 52°45' в. д.), вышедшем из-под сельскохозяйственного пользования. Около 70 лет назад на месте вырубki сосняка лишайникового проведена раскорчевка и вспашка. Участок длительное время использовался под пашню, которая в 90-е гг. была заброшена и превратилась в залежь. В последствии на залежи, после вспашки, создан сеяный луг, который в течение нескольких лет использовался для сенокоса, а затем после прекращения эксплуатации в 2000-х гг. передан лесничеству. Посадка 1-летних сеянцев сосны скрученной с закрытой корневой системой произведена весной 2004 г. на площади 1,8 га с размещением 2 × 2 м, с густотой посадки 2,5 тыс. шт./га. Перед посадкой культур сосны проведена подготовка участка, но вспашка не проводилась. Изначально почва – иллювиально-железистый подзол (песчаная), затем постагrogenная серогумусовая. Подстилка по подгоризонтам не выделяется.

Отбор подстилки в экспериментальных культурах для изучения микромицетного комплекса и измерения ее мощности проводили по всему участку. Выделение микромицетов и определение их численности (в колониеобразующих единицах на г сухой почвы – КОЕ/г) проводили методом посева из серийных разведений на агаризованные среды: Чапека (рН = 4,5), Гетчинсона, сусло-агар в трехкратной повторности для каждого разведения [11].

Жизнеспособность грибного мицелия определяли с использованием красителя флюоресцеин диацетат (ФДА), его длину, количество спор, биомассу учитывали методом люминесцентной микроскопии [11]. Таксономическую принадлежность микромицетов идентифицировали с использованием современных определителей. Названия и положения таксонов унифицировали с помощью базы данных Index Fungorum (www.indexfungorum.org) и MycoBank (<http://www.mycobank.org>).

В подстилке экспериментальных культур выделено 17 видов грибов из 9 родов и светлоокрашенный стерильный мицелий. Комплекс микромицетов, характеризуется невысоким видовым разнообразием – индекс разнообразия Шеннона равен 2,39. Численность микромицетов в исследуемых подстилках варьирует от 8,5 до 48,1 тыс. КОЕ/г абсолютно сухой почвы.

Сообщество микромицетов представлено двумя отделами: *Mucoromycota* и *Ascomycota*. Это основные отделы микроскопических грибов в почвах средней тайги Республики Коми. Отдел *Mucoromycota* представлен 2 видами из одного порядка *Mucorales*, которые составляют 12% от общего количества выделенных видов. Отдел *Ascomycota*, которому принадлежит 88% от общего количества выделенных видов, наиболее многочисленный и насчитывает 15 видов. Он представлен 4 порядками (*Eurotiales*, *Hypocreales*, *Pleosporales*, *Sordariales*) и группой неопределенного таксономического положения (*Incertae sedis*). Самый многочисленный порядок *Eurotiales* содержит 8 видов из двух родов (47% от общего количества видов) и включает в себя многовидовой род *Penicillium* – 7 видов (41% от общего количества видов), а также род *Talaromyces*, представленный всего одним видом – *Talaromyces rugulosus*. Остальные порядки представлены 1–2 видами микромицетов. Представителями порядка *Hypocreales* в исследуемых подстилках являются виды *Trichoderma koningii* и *Keithomyces carneus*. Порядок *Pleosporales* представлен только одним видом из рода *Phoma*. Видовое разнообразие порядка *Sordariales* ограничено двумя представителями рода *Chaetomium*. Группа микромицетов неопределенного таксономического положения – *Incertae sedis* представлена видом *Pseudogymnoascus pannorum* и светлоокрашенный стерильный мицелий. Виды данной группы довольно широко распространены в северных почвах. Биомасса микроскопических грибов составляет 0,75 мг/г абсолютно сухой почвы. Основной вклад в ее структуру вносит мицелий (96%), на долю спор приходится всего 4% от общей биомассы. Мицелий грибов представлен функционально активными гифами беспрямкового мицелия с невысокими параметрами длины – 568 м/г абсолютно сухой почвы.

Установлено, что в подстилках 20-летних опытных культур сосны скрученной сообщество микромицетов характеризуется невысокими видовым разнообразием и биомассой, что обусловлено как многолетней хозяйственной деятельностью человека, так и с маломощностью и низкой гумификацией подстилки. Невысокие показатели численности и видового разнообразия микромицетов, высокая доля случайных и редких видов позволяют сделать вывод о функциональной незрелости микробного комплекса и заторможенности процессов минерализации.

Библиографический список

1. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв / Т. Г. Добровольская, Д. Г. Звягинцев, И. Ю. Чернов, А. В. Головченко, Г. М. Зенова, Л. В. Лысак, Н. А. Манчунова, О. Е. Марфенина, Л. М. Полянская, А. Л. Степанов, М. М. Умаров // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087–1087. doi:10.7868/S0032180X15090038
2. Kitikidou K. Forest floor nutrient dynamics in chestnut plantation ecosystems // Journal Agricultural Science. 2012. Vol. 4. No. 4. P. 51–54. doi:10.5539/jas.v4n4p51
3. Soil microbial community and enzymatic activity in soil particle-size fractions of spruce plantation and secondary birch forest / B. Yang, K. Qi, D. R. Bhusal, J. Huang, W. Chen, Q. Wu, X. Pang // European Journal of Soil Biology. 2020. No. 99. P. 103–196.

4. Терехова В. А., Семенова Т. А. Структура сообществ микромицетов и их синэкологические взаимодействия с базидиальными грибами в ходе разложения растительных остатков // Микробиология. 2005. Т. 74. № 1. С. 104–110.
5. Хабибуллина Ф. М., Творожникова Т. А. Роль микромицетов в трансформации растительных остатков в ельнике чернично-зеленомошном средней подзоны тайги // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2007. № 4. С. 40–47.
6. Looby C. I., Treseder K. K. Shifts in soil fungi and extracellular enzyme activity with simulated climate change in a tropical montane cloud forest // Soil Biology and Biochemistry. 2018. Vol. 117. P. 87–96. doi:10.1016/j.soilbio.2017.11.014
7. Лиханова И. А., Хабибуллина Ф. М., Кураков А. В. Характеристика растительности и почв, рекультивируемых песчаных пустошей нефтяного месторождения (Коми) // Почвоведение. 2008. № 9. С. 1101–1112.
8. Почвенная микобиота на начальных этапах посттехногенной сукцессии в подзоне средней тайги / Ф. М. Хабибуллина, Е. Г. Кузнецова, А. Н. Панюков, А. В. Кураков // Микология и фитопатология. 2018. № 52 (5). С. 356–364. doi: 10.1134/S0026364818050045
9. Мальцев Е. И., Дидович С. В., Мальцева И. А. Сезонные изменения сообществ микроорганизмов и водорослей лесных подстилок древесных насаждений в степной зоне // Почвоведение. 2017. № 8. С. 965–972. doi: 10.7868/S0032180X17060053
10. McIntosh A. C. S., Macdonald S. E., Gundale M. J. Tree species versus regional controls on ecosystem properties and processes: an example using introduced *Pinus contorta* in Swedish boreal forests // Can. J. Forest. Res. 2012. No. 42. P. 1228–1238. doi: 10.1139/x2012-049
11. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М. : МГУ, 1991. 304 с.

ФУНГИЦИД КАРБЕНДАЗИМ В РОССИИ

Т. Н. Кувичкина, Е. Н. Капаруллина, Н. В. Доронина, А. Н. Решетилов
*Пушчинский научный центр биологических исследований РАН,
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов
имени Г. К. Скрыбина РАН, kuv@ibpm.pushchino.ru*

Карбендазим [N-(Бензимидазолил-2)-О-метилкарбамат] – один из первых системных фунгицидов, применяемый и в настоящее время в сельском хозяйстве России для зерновых, сахарной свеклы и картофеля. Также он используется в качестве антигельминтного средства. Из почв с многолетним использованием карбендазима выделяли микроорганизмы деструкторы карбендазима. Они могут быть использованы для биоремедиации почв, загрязненных остатками карбендазима.

Ключевые слова: фунгицид, карбендазим, микроорганизмы деструкторы.

Целью данной работы явилось рассмотрение состояния вопроса о применении фунгицида карбендазима в России. Будут рассмотрены вопросы о времени введения его в практику, синтеза карбендазима, при каких болезнях растений он помогает, какой недостаток у этого фунгицида, как в России ре-

шается проблема резистентности форм вредителей, для каких культур в России используется карбендазим, деструкторы карбендазима.

Системный бензимидазольный фунгицид карбендазим [N-(бензимидазолил-2)-O-метилкарбамат] был введен в практику в конце шестидесятых годов прошлого века после того, как стали использовать бензимидазольный фунгицид беномил (1968). Один из главных методов получения карбендазима основан на реакции 1,2-фенилендиамина с производными S-метилтиоизо мочевины [1]. В 70-е годы в ассортименте появились фунгициды с системными свойствами из класса бензимидазолов: карбендазим, беномил тиабендазола, тиафанат-метил (препараты колфуго супер, винцит, фундазол, комфорт и др.). Данные препараты используются для борьбы с микроскопическими грибами, вызывающими такие заболевания, как пыльная и твердая головня пшеницы, черная, каменная головня ячменя, фузариозная и офиоболезная корневые гнили и снежная плесень.

Недостатком данных фунгицидов является то, что после 2–3 лет применения соединений этой группы были обнаружены высокорезистентные формы грибов, эффективность препаратов резко снижалась. Проблема резистентности у возбудителей болезней растений рассматривается с позиции нежелательных последствий химического метода борьбы, так как приводит к снижению эффективности защитных мероприятий и необходимости повышения норм применения, кратности обработок. Это в свою очередь увеличивает токсическую нагрузку на посевы сельскохозяйственных культур и способствует загрязнению выращиваемой продукции и окружающей среды. В связи с серьезными неблагоприятными воздействиями карбендазима на нецелевые организмы некоторые страны отказались от его использования в сельском хозяйстве. Так, например, карбендазим, так же как и беномил, не применяют в сельском хозяйстве в США.

С 2009 г. применение фунгицидов на основе карбендазима и беномила в Российской Федерации ограничено только зерновыми, сахарной свеклой и картофелем. По токсиколого-гигиеническим характеристикам карбендазим и беномил отнесены ко 2-му классу опасности (включая 2-й класс по тератогенности и эмбриотоксичности). По стойкости в почве карбендазим относится к 1-му классу опасности [2]. Карбендазим производится и продается на рынке несколькими компаниями, в основном, в Китае. В нашей стране зарегистрировано 15 препаративных форм, содержащих карбендазим в качестве единственного действующего вещества, и три препарата, которые содержат в своем составе карбендазим в сочетании с другими средствами: азоксистробинолом, карбоксином, флутриафолом. [3]. В России проблема резистентности решается соответствующей тактикой их применения, заключающейся в чередовании препаратов из различных химических классов или использовании смесевых препаратов. В зависимости от вида защищаемой культуры и степени резистентности к бензимидазолам их применяют в сочетании с фунгицидами, к которым нет перекрестной устойчивости [4]. Бензимидазолы, например беномил, сохраняются в почве без существенных изменений до 1,5–2,0 лет.

По этой причине они более длительно действуют против корневых гнилей, чем соединения из других химических классов [5]. Основная стратегия – чередование и применение смесей веществ с различным механизмом действия. Один из возможных вариантов антирезистентной стратегии – ротация (замена) беномила (фундазола) на спортак, триазолов – на морфолины (например, корбел) или на применение смесей типа арчера (фенпропиморф + пропиконазол) или райдера (фенпиридин + пропиконазол). При этом надо учитывать, что смеси хороши до появления первых признаков резистентности – чередование можно использовать и позже [6]. Остаточных количеств карбендазима в зерне и соломе озимых зерновых культур на момент уборки урожая в различных регионах не обнаружено [7–10]. При возделывании овса используют протравливание семян беномилом [11]. Наиболее часто остаточные количества пестицидов обнаруживались в семечковых, косточковых, citrusовых культурах, корнеплодах, а также винограде, огурцах и томатах. Экологически безопасной продукцией можно признать продукты, относящиеся в основном к классу овощных культур – перец, баклажаны, картофель, сельдерей, белокачанная капуста, чеснок; косточковые плоды – вишня, черешня [12].

Сахарная свекла является одной из главных технических культур, которая выращивается в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах РФ, где существуют 18 заводов по переработке сахарной свеклы. Карбендазим применяется против болезни сахарной свеклы мучнистой росой [13].

С целью создания экологически безопасных протравителей для комплексной защиты картофеля от возбудителей сухих фомозно-фузариозных гнилей при хранении и ризоктониоза разработаны экспериментальные составы суспензионных препаратов с включением в их состав карбендазима без использования традиционных формообразующих компонентов. Испытание этих препаратов показало их высокую эффективность против гнилей хранения. В полевых условиях препараты снижали развитие ризоктониоза на стеблях картофеля, оказывали влияние на показатели продуктивности растений, повышали урожайность культуры и качество нового урожая. Показано, что предложенные препараты обладали высокой биологической эффективностью при сниженных нормах расхода действующих веществ, что способствовало получению экологически безопасной продукции. Но, несмотря на существующую проблему резистентности, препараты карбендазима применяются для протравливания семян, так как при использовании данного приема риск возникновения устойчивости меньше, чем при обработке вегетирующих растений. Методами механохимии получены инновационные композиции фунгицидов-протравителей на основе карбендазима и водорастворимых полимеров для комплексной защиты картофеля от возбудителей гнилей при хранении [14–16].

Кроме того, включение субстанции карбендазима в качестве антигельминтика в липосомы превращало его в высокоэффективное лекарство. Так,

карбендазим показал высокую эффективность при 10-кратно сниженных дозах [17].

Окружающая среда обладает уникальным внутренним сопротивлением и способностью нейтрализовать опасные вещества. Микробиологическая деградация – один из самых важных процессов, определяющих судьбу фунгицидов в окружающей среде. Микроорганизмы повсеместны и многочисленны в почве, обладают способностью катаболизировать различные соединения и способны выжить при чрезвычайно суровых условиях, что делает их идеальными кандидатами для биоремедиации загрязненных сред. Например, ученые из Америки выделили деструктор карбендазима (*Rhodococcus erythropolis*) из почвы, которую два года обрабатывали этим соединением [18]. Исследователи из Китая выделили деструктор карбендазима (*Rhodococcus* sp.) из почвы овощного поля, которое фунгицидом обрабатывалось более 3 лет [19]. Учеными из Китая был выделен деструктор карбендазима штамм *Microbacterium* sp. из почвы овощной теплицы, которая имела 5-летнюю историю обработки карбендазимом [20]. Исследователи из Мексики выделили из образцов почвы микробные сообщества, способные эффективно расти на карбендазими [21]. Из глины Мертвого моря нами выделен и идентифицирован *Rhodococcus qingshengii* Gl Mm 1, который мог расти на карбендазими в качестве единственного источника углерода, то есть является деструктором карбендазима [22].

Таким образом, в настоящее время в России в сельском хозяйстве карбендазим применяется для протравливания семян, в смесях с другими компонентами для культур зерна, сахарной свёклы и картофеля. Кроме того, его используют в качестве антигельминтного препарата. Ликвидировать накопленный вред окружающей среде (биоремедиация) можно, используя микроорганизмы деструкторы карбендазима.

Библиографический список

1. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение. М. : Химия, 1987. 712 с.
2. Илюшина Н. А. Цитогенетические эффекты карбендазима в клетках костного мозга мышей // Генетика. 2020. Т. 56. № 10. С. 1150–1160.
3. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М. : ООО «Изд-во Листерра». 2019. 872 с.
4. Гольшин Н. М. Фунгициды. М. : Колос, 1993. 319 с.
5. Защита зерновых культур от болезней / А. Ю. Кекало, В. В. Немченко, Н. Ю. Заргарян, М. Ю. Цыпышева. Куртамыш : ООО «Куртамышская типография», 2017. 172 с.
6. Тютюрев С. Л. Проблемы устойчивости фитопатогенов к новым фунгицидам // Вестник защиты растений. 2001. № 1. С. 38–53.
7. Комарова А. С., Петрова М. О., Черменская Т. Д. Экологически безопасная защита зерновых культур пестицидами, созданными на основе бензимидазолов // Агропромышленные технологии Центральной России. 2020. № 4 (18). С. 47–54. doi: 10.24888/2541-7835-2020-18-47-54
8. Белецкая Е. Я., Кротова Л. А. Создание инновационного селекционного материала для устойчивого зернового производства мягкой пшеницы // Современные технологии управления: электронное периодическое издание. 2022. № 2 (98). С. 332.

9. Гришечкина Л. Д., Силаев А. И. Карбоксамиды – эффективные средства борьбы с комплексом болезней зерновых культур // Земледелие. 2017. № 2. С. 43–46.
10. Фунгицид-резистентность штаммов *Microdochium nivale* и ее взаимосвязь с вирулентностью / Г. Ш. Мурзагулова, А. Р. Мещеров, О. А. Гоголева, С. Н. Пономарев, М. Л. Пономарева, В. Ю. Горшков // Аграрная наука Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 6. С. 832–840. doi: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.832-840
11. Котова В. В., Кунгурцева О. В. Антракноз сельскохозяйственных растений. СПб. : ВИЗР, 2014. 132 с.
12. Влияние превикура при выращивании томата на безопасность продукции / Д. А. Колунтаев, П. Е. Пузырьков, В. Л. Сухова, Н. И. Добрева // Агро XXI век. 2011. № 10–12. С. 24–27.
13. Колчина Л. М. Технология и техника для возделывания и уборки сахарной свеклы : справочник. М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. 80 с.
14. Малюга А. А., Чуликова Н. С., Халиков С. С. Комплексные препараты для защиты картофеля на основе карбендазима // Успехи современного естествознания. 2017. № 2. С. 15–20.
15. Малюга А. А., Чуликова Н. С., Халиков С. С. Комплексные препараты для защиты картофеля на основе карбендазима // Агрохимия. 2019. № 11. С. 48–56. doi: 10.1134/S0002188119110073
16. Препараты на основе флудиоксонила как средства защиты картофеля от болезней и их эффективность / А. А. Малюга, Н. С. Чуликова, М. М. Ильин, С. С. Халиков // Агрохимия. 2022. № 2. С. 34–44. doi: 10.31857/S0002188122020119
17. Эффективность супрамолекулярных комплексов триклабендазола с полимерными наполнителями при фасциолёзе / М. Б. Мусаев, М. В. Миленина, И. А. Архипов, С. С. Халиков, Ф. С. Михайлицын, А. И. Варламова // Российский паразитологический журнал. 2017. Т. 41. Вып. 3. С. 271–276.
18. Holtman M. A. Kobayashi D. Y. Identification of *Rhodococcus erythropolis* isolates capable of degrading the fungicide carbendazim // Appl Microbiol Biotechnol. 1997. Vol. 47. P. 578–582.
19. *Rhodococcus jialingiae* sp. nov., an actinobacterium isolated from sludge of a carbendazim wastewater treatment facility / Jing-Liang Xu, Xiang-Yang Gu, Biao Shen, Zhi-Chun Wang, Kun Wang, Shun-Peng Li // Current microbiology. 2006. Vol. 53. P. 72–76.
20. Hydrolysis mechanism of carbendazim hydrolase from the strain *Microbacterium* sp. djl- / Ji Lei, Shaopeng Wei, Lijun Ren, Shibin Hu, Peng Che // Journal environmental sciences. 2017. Vol. 54. P. 171–177.
21. Kinetics of carbendazim degradation in a horizontal tubular biofilm reactor / M. L. Alvarado-Gutierrez, N. Ruiz-Ordaz, J. Galindez-Mayer, F. Santoyo-Tepole, E. Curiel-Quesada, J. Garcia-Mena, D. Ahuatzi-Chaco // Bioprocess Biosystems Engineering. 2017. Vol. 40. P. 519–528.
22. Актинобактерии *Rhodococcus qingshengii* GLMm1 как основа для определения фунгицида карбендазима биосенсорным методом / Т. Н. Кувичкина, Е. Н. Капаруллина, Н. В. Доронина, А. Н. Решетилов // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием в 2 книгах. Книга 2. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 9–13.

ОПЫТ СОЗДАНИЯ МИКРОБНЫХ АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ БИОСЕНСОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

*Т. Н. Кувичкина, Е. Н. Капаруллина, Н. В. Доронина, А. Н. Решетилов
Пушчинский научный центр биологических исследований РАН,
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов
имени Г. К. Скрабина РАН, kuv@ibpm.pushchino.ru*

Обобщение опыта создания микробных амперометрических биосенсоров для определения низкомолекулярных органических соединений, растворимых в воде. Ими являлись метанол, метиламины, тиодигликоль, этилендиаминтетраацетат (ЭДТА), диэтилентриаминпентаацетат (ДТПА) и фенол, 2,4-динитрофенол, орто-фталат и пара-толуолсульфонат.

Ключевые слова: микроорганизмы, иммобилизация, кислородный электрод, низкомолекулярные органические соединения, спирты, амины. моноароматические вещества.

Одним из широко используемых направлений исследований в биотехнологии является изучение применения микроорганизмов как основы рецептных элементов биосенсоров. Свойство аэробных микроорганизмов окислять низкомолекулярные органические соединения, растворимые в воде с потреблением молекулярного кислорода, может быть использовано в аналитических целях.

Целью работы являлся анализ закономерностей и обобщение опыта создания микробных амперометрических биосенсоров для определения низкомолекулярных органических соединений, растворимых в воде (потенциальных экотоксикантов). Даны ответы на следующие вопросы: какие вещества могут быть определены биосенсорным методом, какие аэробные микроорганизмы могут быть основой амперометрических биосенсоров.

Автором биосенсорной концепции являлся американский исследователь Лейланд Кларк. В 1956 г. он опубликовал свою основополагающую работу, посвященную аналитическому применению кислородного электрода, который называют электродом Кларка. Назначением электрода Кларка являлось измерение концентрации кислорода в жидких средах.

Аэробные микроорганизмы (прокариоты или эукариоты), имеющие ферментные системы (оксидоредуктазы), способные окислять низкомолекулярные органические соединения, растворимые в воде с потреблением кислорода, применяются для создания микробных амперометрических биосенсоров. Среди таких веществ могут быть алифатические соединения: метанол, метиламины, тиодигликоль, полиаминополиацетаты: этилендиаминтетраацетат (ЭДТА), диэтилентриаминпентаацетат (ДТПА) и моноароматические соединения: фенол, 2,4-динитрофенол, орто-фталат и пара-толуолсульфонат.

Оценка содержания вещества микробным амперометрическим биосенсором не является высоко специфической, однако может быть применена для решения ряда аналитических задач и помогает изучать свойства микроорганизма. Кроме того, для создания микробного амперометрического биосенсора требуется малое количество биомассы. Существуют два основных подхода для получения аэробных микроорганизмов, которые могут быть основой амперометрического биосенсора. Так, микроорганизмы могут быть получены во Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ). Второй подход состоит в том, что микроорганизмы могут быть выделены из различных мест их обитания. В качестве примера первого подхода можно привести метилотрофные бактерии *Methylophila musalis* ВКМ В-2646, составляющие основу биосенсора для определения C₁-соединений (метанол, метиламины) [1, 2]. Кроме того, для определения низших алифатических спиртов в качестве основы биорецептора можно использовать штамм метилотрофных дрожжей *Ogatea polymorpha* ВКМ Y-2559 [3].

Примером использования второго подхода является получение культуры *Chelativorans oligotrophicus* LPM-4, выделенной Лабораторией физиологии микроорганизмов ИБФМ РАН из активного ила городских очистных сооружений г. Пущино. Этот бактериальный штамм являлся основой биосенсора для определения как ЭДТА, так и ДТПА [4]. Для определения 2,4-динитрофенола был использован штамм актинобактерий *Rhodococcus erythropolis* HL PM 1, выделенный из воды реки Рейн (Германия) и любезно предоставленный профессором Кнакмусом [5]. Для определения динатриевой соли орто-фталевой кислоты был использован штамм *Rhodococcus wratislaviensis* ВКМ Ас-2782, выделенный из прибрежной зоны Азовского моря [6]. Для определения пара-толуолсульфоната использовали бактериальный штамм *Comamonas testosteroni* BS1310(pBS1010), выделенный из активного ила аэрируемых биологических очистных сооружений производственного объединения «Новомосковскбытхим» г. Новомосковск Тульской области [7]. Для определения фенола применяли бактериальный штамм *Pseudomonas monteilii* Zima, выделенный из почвы промышленной зоны г. Самары и штамм, выделенный из почв Западной Сибири [8, 9]. Для определения тиодигликоля - продукта гидролиза иприта – в качестве биорецептора применяли бактерии *Alcaligenes xylosoxydans* subsp. *denitrificans* ТД 2, выделенные в Саратовской области из почв, загрязненных ипритом [10]. Также из глины Мертвого моря был выделен и идентифицирован штамм *Rhodococcus qingshengii* Gl Mm 1, который выращивали на карбендазиме в качестве единственного источника углерода [11].

Таким образом, применение аэробных микроорганизмов в качестве основы микробных биосенсоров помогает решить ряд задач, связанных с контролем низкомолекулярных органических соединений, растворимых в воде (потенциальных экотоксикантов), расширить знания о свойствах микроорганизмов биорецепторах.

Библиографический список

1. Метилотрофные микроорганизмы – основа для биосенсорного определения C₁ соединений: метиламина и метанола / Т. Н. Кувичкина А. В., Полякова, Е. Н. Капарулли-на, Н. В. Доронина, Ю. А. Троценко, А. Н. Решетилов // XIII съезд Общества микробиоло-гов Украины имени С. Н. Виноградского : тезисы докладов. Ялта, 2013. С. 394.
2. Биосенсорный метод определения метиламина, диметиламина и триметиламина в водной среде / Т. Н. Кувичкина, А. В. Полякова, Е. Н. Капарулли-на, Н. В. Доронина, Ю. А. Троценко, А. Н. Решетилов // Актуальные проблемы региональной экологии и био-диагностика живых систем : материалы XI Всерос. науч.-практ. конф.-выставки инноваци-онных экологических проектов с междунар. участием. Киров, 2013. С. 14–17.
3. Кувичкина Т. Н., Китова А. Е., Решетилов А. Н. Использование метилотрофных дрожжей, основанное на свойстве алкогольоксидазы окислять низкомолекулярные алифа-тические спирты // Биологически активные вещества микроорганизмов : Всерос. симпози-ум с междунар. участием. Материалы к 90-летию заслуженного профессора Московского университета Н. С. Егорова. М. : МГУ, 2011. С. 72.
4. Деградация ЭДТА и комплексов ЭДТА с металлами иммобилизованными клет-ками бактерий *Chelativorans oligotrophicus* LPM-4 / Т. Н. Кувичкина, Е. Н. Капарулли-на, Н. В. Доронина, Ю. А. Троценко, А. Н. Решетилов // Прикладная биохимия и микробиоло-гия. 2012. Т. 48. № 6. С. 626–630.
5. Деградация 2,4-динитрофенола свободными и иммобилизованными клетками *Rhodococcus erythropolis* HL PM-1 / А. Е. Китова, Т. Н. Кувичкина, А. Ю. Аринбасарова, А. Н. Решетилов // Прикл. биохимия и микробиология. 2004. Т. 40. № 3. С. 307–311.
6. Оценка присутствия ди-(2-этилгексил) фталата в поливинилхлоридных пластика-тах масс-спектрометрическим и биосенсорным методами / Т. Н. Кувичкина, Д. В. Будина, А. С. Олькова, А. Н. Решетилов // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 11–15.
7. Штамм *Comamonas testosterone* BS 1310(pBS 1010) как основа биосенсорного анализатора сульфоароматических соединений / А. А. Макаренко, С. В. Балашов, Т. Н. Кувичкина, П. В. Ильясов, А. Н. Решетилов // Прикл. биохимия и микробиология. 1999. Т. 35. № 4. С. 412–421.
8. Деградация фенола клетками бактерий *Pseudomonas monteilii* Zima / Т. Н. Кувичкина, В. Е. Носулич, Е. Н. Капарулли-на, Н. В. Доронина, А. А. Макаренко, А. Н. Решетилов // Микробиология: вопросы экологии, физиологии, биотехнологии : Все-рос. конф. с междунар. участием к 95-летию кафедры микробиологии МГУ, к 130-летию со дня рождения У. У. Успенского и 135-летию со дня рождения В. Н. Шапочникова. М., 2019. С. 71.
9. Бактерии из почв месторождений Западной Сибири как основа биосенсоров для определения фенола / А. А. Макаренко, И. П. Безвербная, И. А. Кошелева, Т. Н. Кувички-на, П. В. Ильясов, А. Н. Решетилов // Прикладная биохимия и микробиология. 2002. Т. 38. № 1. С. 29–34.
10. Кувичкина Т. Н., Ермакова И. Т., Решетилов А. Н. Штамм *Alcaligenes ху-losoxydans subsp. denitrificans* TD2 как основа биосенсора для определения тиодигликоля // Микробиология. 2012. Т. 81. № 6. С. 810–811.
11. Актинобактерии *Rhodococcus qingshengii* GLMm1 как основа для определения фунгицида карбендазима биосенсорным методом / Т. Н. Кувичкина, Е. Н. Капарулли-на, Н. В. Доронина, А. Н. Решетилов // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 2. Киров: Вятский государственный университет, 2021. С. 9–13.

ГЕНЫ РЕЗИСТЕНТНОСТИ К АНТИБИОТИКАМ МИКРООРГАНИЗМОВ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

*А. Е. Полинченко, О. Д. Лановая, К. А. Онасенко, А. С. Мезга,
Т. Н. Ажогина, М. А. Сазыкина*
Южный федеральный университет, polinichenko@sfedu.ru

В данной работе было рассмотрено содержание генов устойчивости к сульфаниламидам, карбапенемазам, метициллину, гликопептидам, тетрациклину, 14-членным макролидам (эритромицин, телитромицин, рокситромицин), стрептомицину, кларитромицину, рокситромицину, β -лактамазам и линкозамидам в бактериях десяти популярных пробиотических препаратов. Исследовались такие пробиотические препараты как Бифидумбактерин, Лактожиналь, Линекс, Аципол, Максилак, Пробиокс, Healthy Origins, Бак-сет, Бактистатин и Пробиолог.

Ключевые слова: пробиотики, ГПГ, АРГ, *sul2*, *VIM*, *mecA*, *vanA*, *TetO*, *mphA*, *aadA2*, *CTX-M*, *ermB*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus*, *Streptococcus*.

Пробиотики представляют собой живые микроорганизмы, оказывающие благоприятное воздействие на кишечную микрофлору хозяина. Штаммы, наиболее часто используемые в качестве пробиотиков, включают молочнокислые бактерии и бифидобактерии, которые относятся к доминирующей по количеству микробиоте ЖКТ. Пробиотики продемонстрировали значительный потенциал в качестве терапевтических вариантов при различных заболеваниях, но механизмы, ответственные за эти эффекты, полностью не выяснены. Поскольку кишечная микробиота характеризуется высокой плотностью клеток, это может приводить к микробным взаимодействиям и облегчает события горизонтального переноса генов (ГПГ). Бактерии, естественным образом присутствующие в пищевых продуктах, пищевых добавках или преднамеренно добавленные к ним, включая пробиотические бактерии, представляют собой потенциальный источник детерминант устойчивости к антибиотикам. Пробиотики могут снижать риск некоторых инфекционных заболеваний и тем самым снижать потребность в антибиотиках, однако при этом наличие у них генов резистентности является опасным из-за способности бактерий к ГПГ.

Для проведения исследований использовались молекулярно-генетические методы, включающие выделение тотальной ДНК из образцов пробиотических препаратов, модифицированным фенол-хлороформным методом [1], определение концентрации ДНК при помощи флуориметра Qubit 3.0 (Thermo Fisher Scientific, США) и проведение количественного ПЦР анализа (RT-PCR). Полученные результаты ПЦР в реальном времени были пересчитаны в количество копий искомого гена на копию гена 16S рРНК.

В 4 из 10 исследуемых пробиотиков обнаружены каждый из 10 исследуемых генов резистентности. К ним относятся Healthy Origins, Бак-сет, Бактистатин и Пробиолог. Наименьший спектр АРГ был обнаружен у препаратов Лактожиналь и Максилак. Однако при этом количество копий некоторых АРГ в Максилаке выше среднего значения, к таким генам относятся *sul2* и *tetO* ($1,25 \times 10^{-2}$ и $1,38 \times 10^{-3}$ АРГ/копий 16S).

Наименее часто встречающимися генами резистентности оказались *mphA* (в таких препаратах как Бифидумбактерин, Линекс, Healthy Origins, Бак-сет, Бактистатин и Пробиолог) и *mecA* (Аципол, Пробиокс, Healthy Origins, Бак-сет, Бактистатин и Пробиолог). Наиболее часто встречающимися генами оказались *aadA2*, *tetO*, *ermB* и *VIM*. Данные гены были обнаружены в каждом исследуемом пробиотическом препарате.

Наибольшее содержание *aadA2* найдено в Линексе ($1,47 \times 10^{-3}$ копий/16S рРНК), наибольшее содержание *sul2* – в Максилаке ($1,25 \times 10^{-2}$ копий/16S рРНК), *mphA* – в Бактистатине ($7,12 \times 10^{-2}$ копий/16S рРНК), *vanA* и *vanB* – в Линексе ($8,81 \times 10^{-3}$ копий/16S рРНК и $1,37 \times 10^{-1}$ копий/16S рРНК соответственно), *TetO* – в Пробиологе ($2,23 \times 10^{-3}$ копий/16S рРНК), *mecA* – в Ациполе ($2,43 \times 10^{-4}$ копий/16S рРНК), *ermB* – в Бактистатине ($5,55 \times 10^{-5}$ копий/16S рРНК), *VIM* – в Линексе ($1,16 \times 10^{-2}$ копий/16S рРНК), *CTX-M* – в Бактистатине ($9,22 \times 10^{-2}$ копий/16S рРНК). Таким образом, Линекс содержит наибольшее количество по 4 генам резистентности относительно количества генов у других исследуемых пробиотиков, Бактистатин 2, Максилак, Пробиолог и Аципол по 1.

Наиболее высокая концентрация АРГ в сочетании с разнотипностью генов отмечается у таких препаратов как Бактистатин и Пробиолог. Также следует отметить, что препараты Лактожиналь, Пробиолог и Бифидумбактерин имеют наименьшую концентрацию генов резистентности, при этом Лактожиналь к тому же имеет наименьший спектр генов резистентности.

Сообщалось, что устойчивые к ванкомицину фенотипы, возможно, являются наиболее характерными механизмами устойчивости, описанными у представителей рода *Lactobacillus*. При этом резистентность к ванкомицину не является приобретённой, а относится к механизмам природной устойчивости. [2]. В таком случае, можно предположить, что большое количество генов *vanA* и *vanB* в Линексе обусловлено присутствием в данном препарате *L. acidophilus* (sp. *L. gasseri*). Аналогично прослеживается взаимосвязь высокого содержания гена устойчивости к стрептомицину (*aadA2*) в Линексе и присутствием в нём представителя рода *Lactobacillus*. Устойчивость к аминогликозидам была описана как неотъемлемая особенность некоторых видов *Lactobacillus*. Были обнаружены гены нуклеотидилтрансфераз, таких как *ant(6)* и *ant(9)*, которые связывают с устойчивостью лактобацилл к канамицину и стрептомицину в соответствии с высоким сродством *ant(6)* к стрептомицину. [3] В ряде исследований говорится о том, что детерминанты устойчивости к тетрациклину *tet (M)*, *tet (S)*, *tet (W)*, *tet (O)* и *tet (Q)* являются наиболее часто приобретаемыми генами устойчивости, обнаруженными у

лактобацилл. [4] Это частично согласуется с полученными данными ввиду высокой концентрации гена *tetO* в лактосодержащих пробиотиках Пробиологе ($2,23 \times 10^{-3}$ копий/16S рРНК), Максилаке ($1,38 \times 10^{-3}$ копий/16S рРНК) и Линексе ($9,18 \times 10^{-4}$ копий/16S рРНК). Предположительно, концентрации генов резистентности к тетрациклину принимают ещё более высокие значения при рассмотрении всех генов семейства *tet*, поскольку наиболее распространенными генами устойчивости являются *tet* (M) и *tet* (S) у пищевых и пробиотических бактерий из-за частой ассоциации *tet*(M) с конъюгативными транспозонами, такими как Tn *916*. [5, 6].

Описывается [7], что пробиотические штаммы рода *Bacillus* обладают специфическими механизмами защиты от антибиотиков, такими как ген устойчивости к аминогликозидам (*aadD2*) и многие гены устойчивости к макролидам, присутствующие на внехромосомных элементах, что согласуется с полученными результатами по Бактериостатину, который представляет собой лиофилизированные клетки *Bacillus subtilis* 3. Исходя из нашего исследования, гены *ermB* и *CTX-M* отвечающие за устойчивость к макролидам в наибольшем количестве содержатся именно в Бактериостатине, концентрация в нём гена *aadA2* составляет $3,22 \times 10^{-4}$ копий/16S рРНК.

Исследований, посвящённым АРГ других пробиотических микроорганизмов значительно меньше, некоторые из исследуемых нами генов резистентности вообще не встречаются в отношении исследований рода *Bifidobacterium*. Обнаружена устойчивость бифидобактерий к гентамицину, канамицину, метронидазолу, налидиксовой кислоте, неомицину и стрептомицину [8]. Также был обнаружен ген устойчивости к тетрациклину *tet*(W) у *B. longum*. Устойчивость к стрептомицину в полученных нами данных у Бифидумбактерина (*B. bifidum*) немного больше относительно других обнаруженных в нем генов устойчивости. Однако в препаратах Бак-сет и Healthy Origins, в которых содержится несколько видов бифидобактерий, такой корреляции выявить не удалось, поэтому вопрос АРГ бифидобактерий требует более тщательного рассмотрения.

Упоминается наличие механизмов бета-лактамаз и эффлюксных помп у представителей рода *Enterococcus* [8, 9]. В нашем исследовании выявлено относительно большое количество бета-лактаманного гена *VIM* и наличие генов *CTX-M* и *tetO* у энтерококкосодержащего Линекса.

Таким образом, ввиду постоянной эволюции микроорганизмов существует необходимость постоянного пересмотра реестров безопасных пробиотических бактерий в отношении наличия у них различных генов резистентности к антибиотикам, поиска новых менее резистентных пробиотических штаммов, а также о разработке новых руководств безопасности по отношению к пробиотикам.

Библиографический список

1. Occurrence of antibiotic resistance genes in sewages of Rostov-on-Don and lower Don River / I. S. Sazykin, E. Yu. Seliverstova, L. E. Khmelevtsova, T. N. Azhogina, E. M. Kudrevskaya, M. I. Khammami, N. V. Gnennaya, A. A. K. Al-Rammahi, A. V. Rakin,

M. A. Sazykina // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 76–82. doi: 10.25750/1995-4301-2019-4-076-082

2. Goldstein E. J., Tyrrell K. L., Citron D. M. *Lactobacillus* species: taxonomic complexity and controversial susceptibilities // Clin Infect Dis. 2015. Vol. 60. No. 2. P. 98–107. doi: 10.1093/cid/civ072

3. Ramirez M. S., Tolmasky M. E. Aminoglycoside modifying enzymes // Drug Resist Updat. 2010. Vol. 13. No. 6. P. 151–171. doi: 10.1016/j.drug.2010.08.003

4. Antibiotic resistance in probiotic bacteria / M. Gueimonde, B. G. Sánchez, C. de Los Reyes-Gavilán, A. Margolles // Front Microbiol. 2013. Vol. 18. No. 4. P. 202. doi: 10.3389/fmicb.2013.00202

5. Devirgiliis C., Zinno P., Perozzi G. Update on antibiotic resistance in foodborne *Lactobacillus* and *Lactococcus* species // Front Microbiol. 2013. Vol. 8. No. 4. P. 301. doi: 10.3389/fmicb.2013.00301

6. Roberts M. C., Schwarz S. Tetracycline and chloramphenicol resistance mechanisms // Antimicrobial drug resistance: infectious disease / ed. D. L. Mayers. New York : Humana Press, 2009. P. 183–193.

7. Galopin S., Cattoir V., Leclercq R. A chromosomal chloramphenicol acetyltransferase determinant from a probiotic strain of *Bacillus clausii* // FEMS Microbiol. Lett. 2009. Vol. 296. No. 2. P. 185–189.

8. Probiotic Bacteria: Safety, Functional and Technological Properties / M. Saarela, G. Mogensen, R. Fonden, J. Matto, T. Mattila-Sandholm // Journal of Biotechnology. 2000. Vol. 84. No. 3. P. 197–215. doi: 10.1016/S0168-1656(00)00375-8

9. Antibiotic resistance among commercially available probiotics / P. Sharma, S. K. Tomar, P. Goswami, V. Sangwan, R. Singh // Food Research International. 2014. Vol. 57. P. 176–195. doi: 10.1186/s12937-015-0084-2

УТИЛИЗАЦИЯ ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PSEUDOMONAS AUREOFACIENS ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АНТИФУНГАЛЬНОГО БИОПРЕПАРАТА

А. А. Лукаткин, А. С. Лукаткин

*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н. П. Огарева, ussr1960@yandex.ru*

В статье рассматривается проблема утилизации одного из основных отходов спиртового производства – барды и возможности ее использования для выращивания бактерий *Pseudomonas aureofaciens*. Полученная культуральная жидкость может использоваться в качестве биопрепарата для улучшения роста и защиты растений от фитопатогенных грибов.

Ключевые слова: *Pseudomonas aureofaciens*, послеспиртовая брага, переработка, биопрепарат, рост растений, антифунгальная активность.

Одной из насущных проблем спиртовой отрасли является утилизация огромного количества образующихся отходов производства, которые в то же время представляют собой вторичные сырьевые ресурсы. Значительное место среди них занимает послеспиртовая барда (ПСБ) – быстрозакисающая жидкость, которая обладает высокой питательной ценностью, поскольку именно в

барде содержится весь белок зерна [1]. Послеспиртовая барда представляет собой водную суспензию с рН 4,2–4,6, содержащую до 8% сухих веществ. При переработке на спирт крахмалистого сырья в барду переходят сухие вещества бражки, за исключением углеводов, из которых образуются спирт, CO₂ и другие летучие продукты [2]. Выход ПСБ составляет 0,12 м³ на 1 дал выработанного спирта. Сухие вещества барды на 35–45% состоят из взвешенных веществ и на 55–65% – из растворимых.

Химический состав ПСБ варьирует в значительных пределах, поскольку зависит от вида и качества исходного сырья и принятой технологии изготовления спирта. Сухое вещество ПСБ включает белки, гемицеллюлозу, целлюлозу, сахара, декстрины, жир, минеральные и другие вещества. Так, зерновая и картофельная барда содержат (%): сахара 0,25–0,50; глицерин 0,4–0,6; крахмал 0,1–0,2; гемицеллюлозы 1,4–2,3; целлюлозу 0,3–0,9; белки, аминокислоты, органические кислоты и минеральные ионы [3]. Наличие значительного количества легкоусвояемых белковых и безазотистых веществ, аминокислот и витаминов делает зерно-картофельную барду ценным кормовым продуктом.

Учитывая, что Россия обладает сырьем для производства 400–500 тыс. т сухой барды, вопрос о ее рациональном использовании очень актуален. Зерно-картофельную барду используют как корм для животных в натуральном или высушенном состоянии. При этом свежая барда быстро закисает, покрывается плесенью и загнивает, а для высушивания необходимо много энергии. Поэтому в настоящее время разрабатываются технологии, позволяющие использовать отходы спиртовой промышленности не только для прямого скармливания животным, но также в пищевой и химической промышленности [4]. Среди них – биологическая очистка мелассной барды с получением кормового белка, важной добавки для балансирования рациона по протеину; биотехнология получения упрочняющих добавок к бетону (пластификаторов) на основе спиртовой барды; использование отходов спиртовых заводов в производстве гипсоволокнистых изделий и в качестве разжижителя цементного шлама и др.

Рациональным способом утилизации зерновой барды является использование ее в качестве субстрата для выращивания микроорганизмов, кормовых дрожжей и получения ценных белковых продуктов [1]. При этом необходимо адаптировать выращиваемые микроорганизмы к питательной среде и последующему использованию полученных суспензий.

В последние годы растет интерес к экологически чистым и сравнительно безопасным в применении микробиологическим препаратам. Биологические методы обработки растений, по сравнению с химическими, не оказывают отрицательного влияния на окружающую среду, в природе сохраняются полезные микроорганизмы и насекомые. Использование биопрепаратов вместо химических средств защиты или вместе с ними возрастает [5].

Одними из наиболее используемых в получении биопрепаратов являются бактерии рода *Pseudomonas*; нанесенные на семена, они способны

успешно колонизировать ризосферу различных сельскохозяйственных растений. На основе различных видов и штаммов псевдомонад созданы многочисленные отечественные препараты, среди которых планриз (ризоплан), псевдобактерин-2, псевдобактерин-3, РИЦ, ПП, СП и др. Предпосевная обработка семян и клубней сельскохозяйственных культур препаратами на основе бактерий р. *Pseudomonas* способствует повышению энергии прорастания и всхожести семян, ограничению развития болезней, повышению продуктивности растений. Однако срок хранения таких биопрепаратов не всегда оптимален для промышленного использования; стоимость производства также имеет большое значение, поэтому разработка новых эффективных биологических средств защиты растений остается приоритетным направлением биотехнологии [5].

При разработке технологии получения биопрепаратов важно подобрать питательные среды, обеспечивающие не только максимальный выход биомассы, но и снижение себестоимости готового продукта [5]. Перспективным является использование промышленных отходов, среди которых значительное место занимает ПСБ. Использование жидкой фракции послеспиртовой барды (ЖФПСБ) как основы питательной среды при выращивании *Pseudomonas* позволит удешевить технологию получения биопрепарата для защиты растений от фитопатогенных микроорганизмов. Однако в литературе подобные исследования описаны единичными статьями.

В работе представлен способ глубинного выращивания бактерий *Pseudomonas aureofaciens* на ЖФПСБ с получением биопрепарата, используемого для обработки посевного материала сельскохозяйственных растений. Были подобраны оптимальные условия культивирования бактерий на ЖФПСБ и изучено влияние отдельных компонентов питательной среды на выход биомассы бактерий. Определено влияние *P. aureofaciens* на рост фитопатогенов (*Fusarium culmorum* и *Botrytis cinerea*) при совместном культивировании на питательных средах. Показано, что при совместном глубинном культивировании бактерий *P. aureofaciens* с фитопатогенными грибами происходил распад гиф грибов, а при твердофазном культивировании наблюдались зоны отсутствия роста фитопатогенных грибов в местах роста псевдомонад. Выявленное подавление роста фитопатогенных грибов при их совместном культивировании с биопрепаратом, полученным на основе культивирования *P. aureofaciens* на ЖФПСБ, свидетельствует о высоком потенциале полученного биопрепарата как фунгитоксичного объекта, применение которого возможно на сельскохозяйственных культурах. Это подтверждено экспериментально при изучении влияния обработки посевного материала и растений биопрепаратом на их устойчивость к фитопатогенам. Так, предпосевная обработка томата и последующая обработка растений биопрепаратом *P. aureofaciens* способствовали улучшению прорастания семян, роста молодых растений и снижению уровня поражаемости растений фитопатогенными грибами *F. culmorum* и *B. cinerea*, которые вносили в прикорневую зону растений.

Таким образом, показана возможность использования культуральной жидкости бактерий *P. aureofaciens*, выращенных на ПСБ, в качестве биопрепарата для защиты растений от фитопатогенных грибов. Предложена технология практического использования бактерий *P. aureofaciens* для защиты сельскохозяйственных растений от фитопатогенов.

В заключение следует сказать, что в работе показано принципиально новое решение проблемы отходов в производстве этилового спирта – утилизация ЖФПСБ посредством выращивания на ней бактерий *Pseudomonas aureofaciens*, с последующим использованием культуральной жидкости как биопрепарата, защищающего сельскохозяйственные растения от фитопатогенных грибов. Проведенными опытами доказано преимущество барды над традиционными средами при выращивании штамма *P. aureofaciens*.

Биопрепарат, полученный при выращивании штамма *P. aureofaciens* на ЖФПСБ, может широко использоваться в качестве экологически безопасного, избирательного по способу действию природного средства защиты растений от фитопатогенных грибов. Применение этого биопрепарата имеет ряд преимуществ по сравнению с химическими средствами защиты сельскохозяйственных растений, главным из которых является то, что использование биопрепарата не будет нарушать взаимосвязь между элементами агроэкосистемы и не сможет вызвать резистентность у фитопатогенных микроорганизмов.

Библиографический список

1. Антипов С. Т., Журавлев А. В. Проблемы комплексной переработки послеспиртовой зерновой барды // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2005. № 2. С. 36–38.
2. Мандреа А. Г. Спиртовая барда. Технология утилизации // Пищевая промышленность. 2004. № 3. С. 54–55.
3. Кухаренко А. А., Богатырев А. Н. Некоторые аспекты рационального использования вторичных сырьевых ресурсов на предприятиях агропромышленного комплекса // Хранение и переработка сельхозсырья. 2004. № 10. С. 7–8.
4. Титова В. И., Дабахов М. В., Дабахова Е. В. Обоснование использования отходов в качестве вторичного материального ресурса в сельскохозяйственном производстве. Н. Новгород : ВВАГС, 2009. 178 с.
5. Логинов О. Н. Бактерии *Pseudomonas* и *Azotobacter* как объекты сельскохозяйственной биотехнологии. М. : Наука, 2005. 166 с.

ОБНАРУЖЕНИЕ МУЛЬТИРЕЗИСТЕНТНЫХ ШТАММОВ ЭНТЕРОКОККОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. А. Седова^{1,2}, М. А. Морозова²

¹ Южный федеральный университет, darsedova@sfedu.ru,
² ФБУН «Ростовский НИИ микробиологии и паразитологии»

Роспотребнадзора

Проблема распространения в объектах окружающей среды энтерококков с множественной лекарственной устойчивостью представляет особый интерес. В данной работе проведен анализ устойчивости 30 штаммов энтерококков, выделенных из сточных вод до и после прохождения этапов обеззараживания на очистных сооружениях канализации в ряде городов Ростовской области. Обнаружены мультирезистентные штаммы энтерококков, в том числе устойчивые к ванкомицину и линезолиду.

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

Биогенное загрязнение гидросферы оказывает существенное влияние на формирование экологической обстановки, следовательно, информация о бактериальном загрязнении водных объектов представляет практический интерес. Мониторинг качества воды поверхностных водоёмов по санитарно-микробиологическим показателям за последние десятилетия показывает, что практически повсеместно ухудшается качество воды водоисточников из-за массового попадания в водные объекты различных сточных вод, содержащих большое количество микроорганизмов. В этой ситуации ведущая роль в обеспечении качества воды открытых водоёмов, безусловно, отводится очистным сооружениям канализации (ОСК) [1, 2].

Энтерококки являются комменсалами желудочно-кишечного тракта человека и животных. Могут выделяться в виде фекалий в объекты окружающей среды, включая почву, поверхностные водоемы, сточные воды, продукты питания. Поэтому широко используются в качестве индикаторов фекального загрязнения. Представители рода *Enterococcus* являются санитарно-показательными микроорганизмами, которые используются при контроле качества воды как за рубежом, так и в России. Они также указывают на возможное присутствие патогенных микроорганизмов, обитающих в желудочно-кишечном тракте человека и животных. В качестве индикаторов микробного загрязнения воды, энтерококки считаются даже более показательными, чем кишечные палочки [3].

Некоторые виды, такие как *Enterococcus faecalis* и *Enterococcus faecium*, являются условно-патогенными микроорганизмами, в то время как другие виды, такие как *Enterococcus hirae* и *Enterococcus durans*, редко являются причиной инфекции. Энтерококки могут вызывать некоторые опасные для

жизни инфекции: внутрибольничную бактериемию, инфекции мочевыводящих путей, раневые инфекции и т. д. Смертность, связанная с устойчивой к антибиотикам энтерококковой бактериемией, в несколько раз выше, чем при чувствительной энтерококковой бактериемии [4]. Также, *Enterococcus faecalis* и *Enterococcus faecium* входят в группу микроорганизмов ESKAPE (*Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterobacter* spp.), за которыми идет приоритетный мониторинг антибиотикорезистентности [5].

Эффективность очистных сооружений канализации имеет решающее значение для предотвращения распространения бактерий, устойчивых к антибиотикам и генов антибиотикорезистентности в окружающей среде. В нескольких исследованиях по обнаружению устойчивых к антибиотикам бактерий на очистных сооружениях и в сточных водах, ванкомицин-резистентные энтерококки были обнаружены на разных стадиях процессов очистки сточных вод и даже в сбрасываемых сточных водах. Показано, что очистные сооружения являются важным источником штаммов энтерококков, несущих детерминанты устойчивости к противомикробным препаратам [6].

Таким образом, целью данной работы стало определение чувствительности энтерококков, выделенных на разных этапах очистки сточных вод к антимикробным препаратам.

В пробах городской канализации, поступающей на очистные сооружения (ОСК) и сточных вод после прохождения полного комплекса очистки обнаруживали бактерий рода *Enterococcus*. Определение проводили титрационным методом согласно МУК 4.2.1884-04 [7]. Посевы проб воды осуществляли в щелочно-полимиксиную среду для накопления и инкубировали 24 ч при 37 °С, затем производили высеивание петлей на желчно-эскулиновый агар с азидом натрия. Характерные для энтерококков колонии окрашивали по Граму и микроскопировали, ставили каталазный тест с 3% раствором пероксида водорода. Затем выполняли масс-спектрометрический анализ с использованием MALDI TOF масс-спектрометра Microflex с программным обеспечением MALDI Biotyper.

Чувствительность к 14 антибактериальным препаратам (АБП) определяли диско-диффузионным методом согласно МУК 4.2.1890-04 на агаре Мюллера-Хинтон [8].

В исследуемый период с мая по декабрь 2022 г. из канализационных и сточных вод пяти очистных сооружений (ОСК) ряда городов Ростовской области было проанализировано 30 штаммов энтерококков. Видовой состав был представлен следующими видами: *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. casseliflavus*, *E. mundtii*, *E. canintestini*, *E. hirae* (рис. 1).

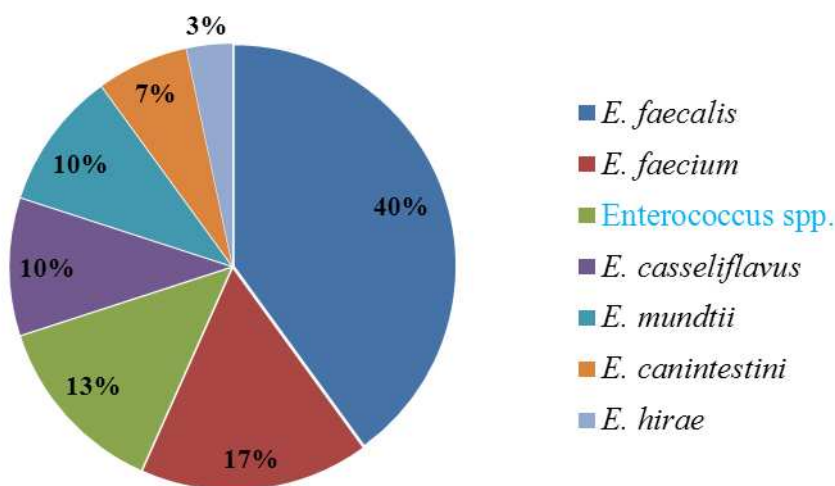


Рис. 1. Видовой состав энтерококков, выделенных из сточных вод ОСК Ростовской области

Чаще всего выделялись штаммы вида *E. faecalis* (12 штаммов), 5 штаммов *E. faecium*, единичные штаммы идентифицированы как виды *E. casseliflavus*, *E. mundtii*, *E. canintestini*, *E. hirae*, у четырех штаммов не определен вид.

Исследуемые энтерококки характеризовались устойчивостью к широкому спектру АБП. Результаты определения чувствительности выделенных штаммов представлены на рисунке 2.

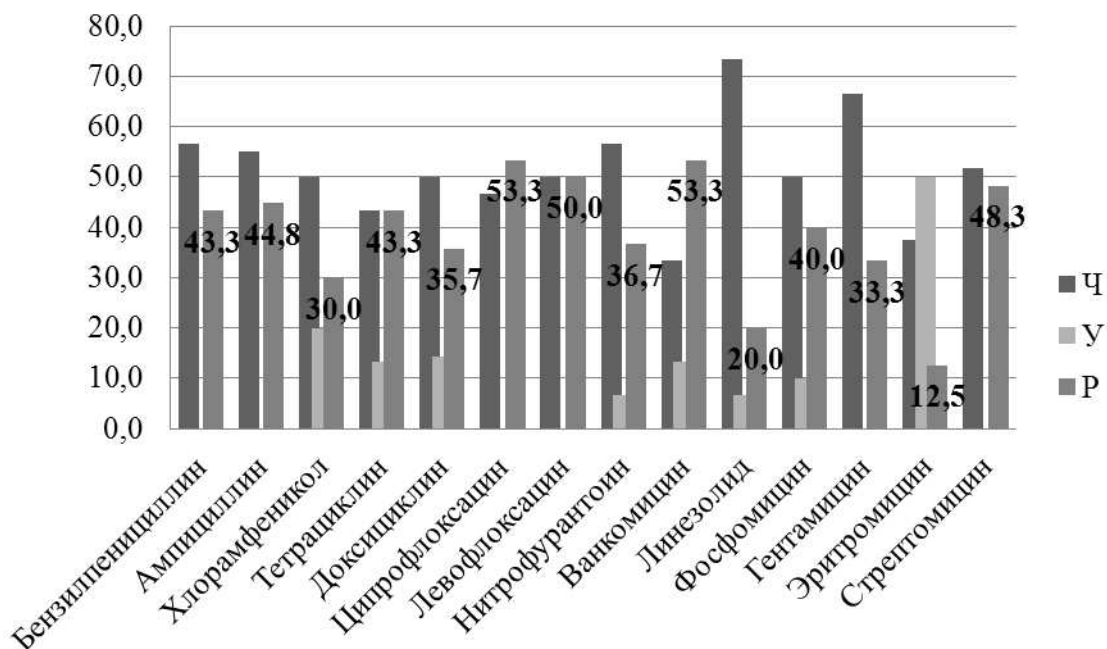


Рис. 2. Антибиотикорезистентность штаммов энтерококков, выделенных из сточных вод ОСК Ростовской области

Примечание: Ч – чувствительные, У – умеренно-чувствительные, Р – резистентные штаммы.

Анализ устойчивости энтерококков показал широкий диапазон спектров антибиотикорезистентности. Больше половины (50,0–53,3%) обладали устойчивостью в отношении фторхинолонов (ципрофлоксацин, левофлоксацин) и ванкомицину. К пенициллинам, тетрациклинам, хлорамфениколу, фосфомицину, гентамицину и стрептомицину уровень резистентности был средним (30,0–48,3% устойчивых штаммов). Наименьшее число изучаемых штаммов энтерококков обладало резистентностью к линезолиду и эритромицину (12,5 и 20,0% соответственно). Максимальное значение индекса множественной антибиотикорезистентности MAR (multiple antibiotic resistance) составило 0,64 у двух штаммов (*E. faecalis* и *Enterococcus* spp.), которые одновременно были устойчивы к 9 из 14 исследуемых АБП. Среднее значение индекса MAR составило $0,38 \pm 0,17$.

Вызывает беспокойство распространение в сточных водах ванкомицин-резистентных штаммов энтерококков, а также устойчивых к линезолиду и мультирезистентных штаммов. Причем, устойчивые штаммы выделялись как из канализационных, так и из сточных вод после прохождения всех этапов очистки на ОСК. Это означает, что эффективность очистки не позволяет в полной мере элиминировать резистентные штаммы и создаются определенные риски для их распространения в окружающей среде (вода, почва).

Библиографический список

1. Оценка барьерной роли очистных сооружений в обеззараживании сточных вод в отношении *E. coli*, обобщённых и общих колиформных бактерий / А. В. Загайнова, П. В. Журавлёв, М. А. Морозова, Д. А. Седова, О. В. Грицюк, М. Н. Панькова, З. Е. Федец // Гигиена и санитария. 2022. № 5. С. 479–486. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-5-479-486
2. Балльная оценка потенциального риска возникновения ОКИ, передаваемых водным путем / В. В. Алешня, П. В. Журавлев, Д. А. Седова, Л. В. Иванова, А. В. Загайнова, Т. З. Артемова, Е. К. Гипп // Материалы Международного Форума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды, посвященного 85-летию ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС имени А. Н. Сысина» Минздрава России : тезисы докладов 2016. Т. 1. С. 41–44.
3. Antibiotic susceptibilities of *Enterococcus* species isolated from hospital and domestic wastewater effluents in Alice, Eastern Cape Province of South Africa / B. C. Iweriebor, S. Gaqavu, L. C. Obi, U. U. Nwodo, A. I. Okoh // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2015. Vol. 12. No. 4. P. 4231–4246. doi: 10.3390/ijerph120404231
4. Differentiating *Enterococcus* lineages in combined sewer overflow and potable water combating to hospital acquired high-level β -lactam resistance / M. Rehman, K. A. Hasan, H. Bin-Asif, S. Akram, S. Zahid, Z. A. Mirani, S. A. Ali // Environmental Challenges. 2021. Vol. 4. 100094. doi: 10.1016/j.envc.2021.100094
5. Седова Д. А., Калюжин А. С., Романовская Ю. А. Антибиотикорезистентность и чувствительность к коммерческим препаратам бактериофагов клинических изолятов бактерий *Klebsiella pneumoniae* и *Pseudomonas aeruginosa* // Санитарный врач. 2021. № 9. С. 73–80. doi: 10.33920/med-08-2109-08
6. Molale-Tom L. G., Bezuidenhout C. C. Prevalence, antibiotic resistance and virulence of *Enterococcus* spp. from wastewater treatment plant effluent and receiving waters in South Africa // Journal of Water and Health. 2020. Vol. 18. No. 5. 753–765. doi: 10.2166/wh.2020.086

7. МУК 4.2.1884-04 «Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов». М. : ФГУП «Стандартинформ», 2000. 92 с

8. МУК 4.2.1890-04 «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам». М. : Минздрав, 2004. 92 с.

УСТОЙЧИВОСТЬ МЕТАЛЛОТОЛЕРАНТНЫХ БАКТЕРИЙ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД К В-ЛАКТАМНЫМ АНТИБИОТИКАМ

Л. В. Переломов¹, М. М. Герцен¹, О. И. Сизова², Л. Г. Мухторов¹

*¹ Тульский государственный педагогический университет
имени Л. Н. Толстого, perelomov@rambler.ru,*

*² Пущинский научный центр биологических исследований
Российской академии наук, Институт биохимии и физиологии
микроорганизмов имени Г. К. Скрыбина РАН, osizova@rambler.ru*

В статье представлены результаты изучения резистентности металлоторантных штаммов бактерий, выделенных из осадков сточных вод очистных сооружений крупного города, к различным антибиотикам группы β -лактамных. Выявлена специфическая перекрестная устойчивость бактерий к тяжелым металлам и антибиотикам.

Ключевые слова: бактерии, тяжелые металлы, β -лактамные антибиотики, осадки сточных вод.

Использование антибиотиков на протяжении всего времени после их открытия обеспечивает сохранение здоровья населения и, как следствие, приводит к повышению качества и продолжительности жизни. Помимо медицинского применения, антибиотики широко используются в ветеринарии, сельском хозяйстве, а также пищевой промышленности в различных технологических процессах [1]. Стойкое повышение концентрации антибиотиков в окружающей среде является причиной роста устойчивости микробов к антибиотикам, что вызывает серьезные медицинские и экологические проблемы [2]. Формирование резистентности патогенных бактерий к антибиотикам может привести к неэффективности лечения – увеличению продолжительности заболевания и смертности.

В условиях крупных городов значительные количества антибиотиков попадают в окружающую среду через канализационную сеть и очистные сооружения. Источниками антибиотиков для городских очистных сооружений могут быть сточные воды заводов и учреждений, производящих и применяющих антибиотики, а также бытовые стоки жителей. Сточные воды фармацевтических заводов и больниц являются важным источником загрязнения остатками антибиотиков. От 40 до 90% принятой дозы антибиотиков выводится с калом и мочой в виде исходного соединения – в активной форме.

Кроме того, некоторые антибиотики попадают в сточные воды в результате неправильной утилизации неиспользованных или просроченных лекарств [3].

Целью данной работы являлась оценка резистентности ранее выделенных из осадков сточных вод и идентифицированных молекулярно-генетическими методами металлоторантанных штаммов бактерий к антибиотикам группы β -лактамов при двух концентрациях 20 и 40 мкг/мл и 50 и 100 мкг/мл (в зависимости от поколения антибиотика). Полученные результаты показаны в таблице.

β -лактамы оказывают свое антибиотическое действие, имитируя природный субстрат D-Ala-D-Ala, относящийся к семейству ферментов, известных как пенициллин-связывающие белки (ПСБ), которые отвечают за сшивание пептидогликанового компонента бактериальной клеточной стенки. В конечном итоге антибиотики подавляют транспептидную активность и нарушают целостность клеточной стенки, что приводит к лизису клетки. Устойчивость к β -лактамам преимущественно возникает за счет одного из двух механизмов: 1) продукции β -лактамаз, которая является наиболее распространенным механизмом резистентности у грамотрицательных бактерий; 2) продукции измененного ПСБ с более низким сродством к большинству β -лактамов антибиотиков [4].

Все металлоустойчивые штаммы бактерий из осадков сточных вод устойчивы к ампициллину – β -лактамовому полусинтетическому антибиотику подгруппы пенициллинов – в концентрациях до 100 мкг/мл. Антибиотики этой же подгруппы – пенициллин и карбенициллин оказались более эффективными. Они подавляли штаммы *Rhodococcus*, а также *Citrobacter freundii* (только карбенициллин).

Штаммы *Stenotropomonas maltophilia* SS0-5 и *Serratia liquefaciens* SS60-8 проявили устойчивость ко всем изученным антибиотикам подгруппы цефалоспоринов. Штамм *Citrobacter freundii* SS60-12, напротив, подавлялся всеми цефалоспоридами в любой концентрации. Очевидно, что металлоторантные штаммы обладают наименьшей устойчивостью к цефтазидиму – только 4 из 12 штаммов были устойчивы к нему при максимальных концентрациях.

Бактерии еще менее устойчивы к меропенему, β -лактамовому антибиотику подгруппы карбапенемов. Лишь 3 штамма (*Serratia fonticola* SS0-1, *Stenotropomonas maltophilia* SS0-5, *Stenotropomonas maltophilia* SS0-10) росли при максимальных концентрациях этого вещества.

**Устойчивость металлотолерантных штаммов бактерий
из осадков сточных вод к β -лактамным антибиотикам**

Штамм и устойчивость к металлу	Группа β -лактамных антибиотиков													
	подгруппа пенициллинов						подгруппа цефалоспоринов						подгруппа карбо-пенемов	
	ампициллин		пенициллин		карбенициллин		цефотаксим		цефтриаксон		цефтазидим		меропенем	
	мкг/мл													
	50	100	50	100	50	100	20	40	20	40	20	40	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Serratia fonticola</i> SS0-1, (5 mmol Cu, 3 mmol Pb)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
<i>Rhodococcus qingshengii</i> SS60-2, (5 mmol Co, 3 mmol Ni, Pb, Cu)	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
<i>Rhodococcus qingshengii</i> SS6-3, (5 mmol Ni, 3 mmol Pb, Cu)	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
<i>Pseudomonas fragi</i> SS0-4, (3 mmol Cd, Zn, Cu, Pb)	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> SS0-5, (3 mmol Zn, 3 mmol Cu)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Pseudomonas extremaustralis</i> SS0-6, (5 mmol Zn, 3 mmol Cu, Pb)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-

Таким образом, у изученных нами металлоторерантных штаммов бактерий наблюдается специфическая перекрестная устойчивость как к тяжелым металлам, так и к различным антибиотикам группы β -лактамных антибиотиков.

Исследование выполнено в рамках Гранта РНФ № 22-24-20074, проводимого совместно с органами власти субъекта Российской Федерации (Тульская область).

Библиографический список

1. Antibiotic use in agriculture and its consequential resistance in environmental sources: Potential public health implications / C. Manyi-Loh, S. Mamphweli, E. Meyer, A. Okoh // *Molecules*. 2018. Vol. 23. No. 4. P. 795. doi: 10.3390/molecules23040795
2. Antibiotic resistance in bacteria – a review / R. Urban-Chmiel, A. Marek, D. Stępień-Pyśniak, K. Wieczorek, M. Dec A. , Nowaczek, J. Osek // *Antibiotics*. 2022. Vol. 11. No. 8. P. 1079. doi: 10.3390/antibiotics11081079
3. Antibiotics in the environment: causes and consequences / S. I. Polianciuc, A. E. Gurzău, B. Kiss, M. G. Ștefan, F. Loghin // *Med. Pharm. Rep.* 2020. Vol. 93. No. 3. P. 231–240.
4. Worthington R. J., Melander C. Overcoming resistance to β -lactam antibiotics // *J. Org. Chem.* 2013. Vol. 78. No. 9. P. 4207–4213. doi: 10.1021/jo400236f

РАЗРАБОТКА ДВУХМЕДИАТОРНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИ(ТИОНИНА) И РАСТВОРИМЫХ РЕДОКС-СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРООРГАНИЗМОВ ЭУКАРИОТ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНДЕКСА БИОХИМИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА

А. С. Медведева

Тульский государственный университет, ilyuhina.nastya@mail.ru

В данной работе был использован электрополимеризованный тионин в качестве редокс-активного полимера для разработки двухмедиаторного биосенсора, предназначенного для определения уровня биохимического потребления кислорода (БПК). Было выяснено, что биосенсор на основе данной системы характеризуется высокой чувствительностью ($0,8 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$).

Ключевые слова: редокс-активный полимер поли(тионин); дрожжи *Blastobotrys adenivoran*; биохимическое потребление кислорода (БПК).

Отдельная роль в области экологического мониторинга отводится контролю качества водной среды обитания. Это связано с активным развитием отраслевой промышленности и сбросом ее отходов в реки и водоемы. Для оценки суммарного содержания органических загрязнителей измеряется такой параметр как индекс биохимического потребления кислорода. Альтернативой стандартному методу, который требует длительного времени проведения анализа, служат микробные биосенсоры. Данные устройства имеют пре-

имущества в силу простоты и надежности конструкции, экономичности использования. Тем не менее, зачастую те или иные микроорганизмы могут в той или иной степени хуже отвечать на введение субстрата в кювету. Для понижения значения нижней границы диапазона определяемых концентраций, характеризующего чувствительность, используют двухмедиаторные системы передачи электронов.

Для усовершенствования передачи аналитического сигнала, увеличения чувствительности используют модификации редокс-активными полимерами. Они являются перспективными, так как их синтез прост и экономичен, полимеры обладают хорошей устойчивостью к внешним воздействиям, а также окислительно-восстановительной способностью. Редокс-активные полимеры активно изучаются как модификаторы биосенсоров в области медицины, например, для ДНК-сенсоров и биосенсоров для определения гормонов.

Среди редокс-активных полимеров, применяющихся для создания электрохимических систем биосенсорных датчиков и биотопливных элементов можно выделить поли (тионин). Благодаря своей устойчивости к воздействию окружающей среды, высокой проводимости и способности быть совместимым с биологическими системами, поли (тионин) стал успешно применяться в разработке биосенсоров для определения глюкозы и мочевой кислоты [1]. Для получения такого редокс-активного полимера, как поли (тионин), в качестве мономера использовали тионин, который идеально подвергается процессу электрополимеризации [2].

Для практического использования систем «микроорганизм – проводящий полимер» важно изучение особенностей взаимодействия проводящего полимера с используемым микроорганизмом. В качестве микроорганизмов, составляющих основу БПК-биосенсора были использованы дрожжи *V. adenivorans*. Данные дрожжи выделяются устойчивостью при высоких температурах и высоком осмотическом давлении, а также больших количеством метаболизируемых субстратов. Такие уникальные особенности делают их перспективным биоматериалом для рецепторных систем БПК-биосенсоров, позволяющим создавать стабильные биодатчики, показывающие высокую корреляцию к стандартному методу анализа [3–4]. Константы скорости взаимодействия микроорганизмов *V. adenivorans* с проводящим полимером (k_1) были найдены методом циклической вольтамперометрии с помощью моделирования Николсона-Шайна (1).

$$\frac{I_k}{I_d} = \sqrt{\frac{k_{B3}[E]RT}{nFv}}, \quad (1)$$

где I_k – предельный ток в присутствии субстрата (А), I_d – предельный ток в отсутствии субстрата (А), k_{B3} – константа скорости взаимодействия медиатора и биоматериала ($\text{дм}^3/(\text{мг}\cdot\text{с})$); R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль К); T – температура (К); $[E]$ – титр клеток ($\text{мг}/\text{дм}^3$); v – скорость развертки (В/с); n – количество перенесенных электронов; F – постоянная Фарадея (Кл/моль).

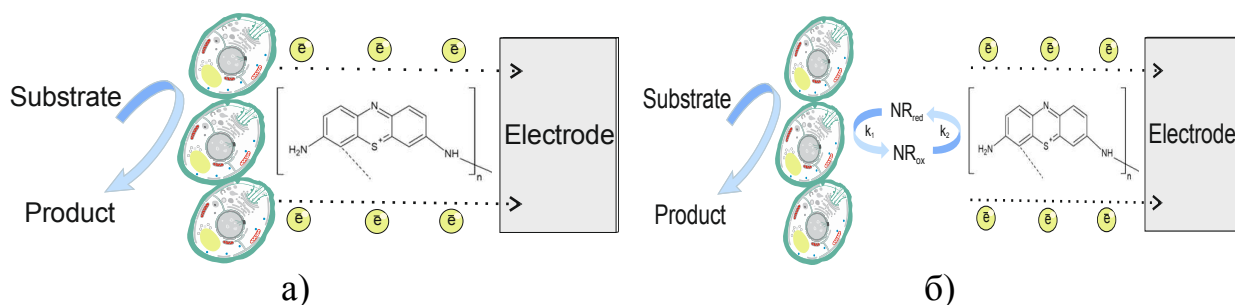


Рис. 1. Предположительный механизм функционирования рабочего электрода на примере клеток *B. adenivorans* и систем: (а) пТН; (в) пТН-НК

Следует отметить, что редокс-активный полимер пТН практически не проникает в клетку дрожжей, тем самым значительно снижает эффективность транспорта электронов на электрод (рис. 1а). Одним из подходов, позволяющих увеличить эффективность переноса электронов для эукариот предусматривает использование двухмедиаторных систем (рис. 1б), так как данные системы позволяют повысить чувствительность анализа.

Для того, что передача электронов в двухмедиаторной системе шла последовательно и оба медиатора не конкурировали между собой необходимо обеспечить разницу в скоростях взаимодействия как с биоматериалом, так и с электродом, чтобы один медиатор быстро взаимодействовал с электродом, но медленно с биоматериалом, а второй наоборот быстро взаимодействовал с биоматериалом, но медленно с электродом. Эффективность переноса электронов в двухмедиаторной системе будет зависеть и от скорости взаимодействия двух медиаторов между собой (k_2) – высокое значение данной константы не вызовет лимитирования процесса передачи электронов при эксплуатации биосенсоров в данных условиях. Константа скорости взаимодействия проводящего материала при избытке растворимого медиатора – нейтрального красного определялась по описанной выше модели Николсона и Шайна (табл. 1).

Таблица 1

Кинетические характеристики, сформированных систем

Проводящая система	Константа (k_1) взаимодействия дрожжей <i>B. adenivorans</i> с редокс-соединениями, $\text{дм}^3/(\text{г}\cdot\text{с})$	Константа (k_2) взаимодействия редокс-соединений, $\text{дм}^3/(\text{г}\cdot\text{с})$
Поли(тионин)	$0,00651 \pm 0,00003$	–
Поли(тионин)-НК	$0,681 \pm 0,009$	1630 ± 80

Таким образом, анализ полученных вольтамперограмм позволяет сделать вывод о том, что система на основе поли(тионина) в совокупности с медиатором нейтральным красным наиболее эффективно взаимодействует с иммобилизованными микроорганизмами. Это может быть связано с тем, что данный медиатор в лучшей степени способен «встраиваться» в структуру клеточной мембраны и участвовать в окислительно-восстановительных процессах с последующей передачей сигнала на поли(тионин). Данный факт подтверждают и значения констант.

Для биосенсоров на основе разработанных систем были получены градуировочные зависимости аналитического сигнала от индекса БПК₅ (рис. 2). В качестве модельной использовали смесь глюкозы и глутаминовой кислоты в массовом соотношении 1:1 (ГГС), которую применяют как стандарт в определении БПК₅ в международной практике.

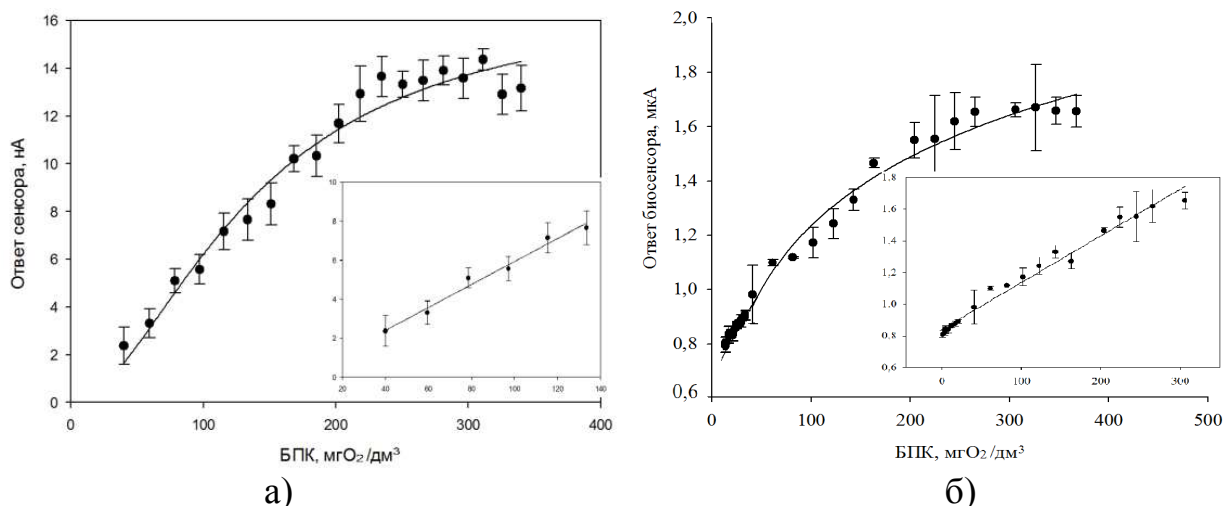


Рис. 2. Градуировочная зависимость ответа БПК-биосенсора от концентрации БПК для систем: а) ГПЭ-п(ТН); б) п(ТН)-НК

Электрохимический ответ биорецепторного элемента на основе целых клеток обеспечивается ферментативными реакциями микроорганизмов. Моделирование в рамках кинетики Михаэлиса-Ментен позволяет использовать уравнение 2 для аппроксимации полученных кривых.

$$R = \frac{R_{\max} [S]}{K_M + [S]}, \quad (2)$$

где R_{\max} – максимальная скорость ферментативной реакции, достигаемая при $[S] \rightarrow \infty$, K_M – эффективная константа Михаэлиса, т.е. концентрация субстрата, при которой $R = R_{\max}/2$.

Из уравнения 2 следует, что при низких концентрациях субстрата аналитический сигнал будет пропорционален БПК₅, что позволяет выделить линейный участок градуировочной кривой, ограниченный сверху значением K_M . Нижнюю границу линейного участка рассчитывали статистическим методом, исходя из критерия относительного стандартного отклонения результатов измерения ($Sr(C)$) < 0,33. В таблице 2 представлены основные аналитические и метрологические характеристики БПК-биосенсоров.

На основании анализа метрологических и аналитических характеристик, представленных в таблице 2, для анализа природных вод наиболее целесообразно использовать систему «поли(тионин)- НК», так как нижняя граница биосенсора позволяет оценивать значения БПК₅ в диапазоне от 0,8–320 мгО₂/дм³.

Характеристики разработанных биосенсоров

Характеристика	Разработанный биосенсор	
	пНТ - <i>B. adeninivorans</i>	пТН - НК - <i>B. adeninivorans</i>
Операционная стабильность, %	6,1	7,1
Долговременная стабильность, сутки	17	20
Длительность единичного измерения, мин	6–8	6–8
Линейный диапазон определяемых концентраций БПК, мгО ₂ /дм ³	40–140	0,8–320
Коэффициент корреляции, R	0,9705	0,9539

Для тестирования разработанного биосенсора было отобрано 5 проб сточных вод. На рисунке 3 показана корреляция между значениями БПК образцов воды, определенными с помощью биосенсора, и значениями БПК, определенными стандартным методом разбавления.

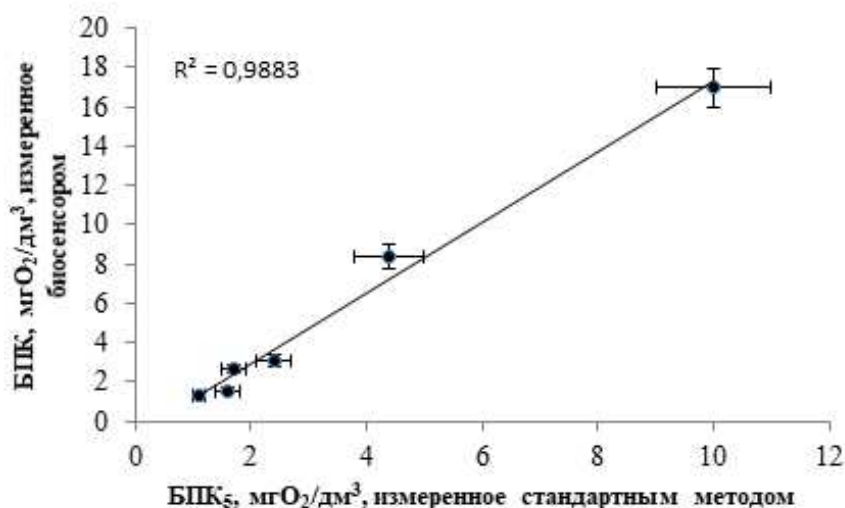


Рис. 3. Корреляция между значениями БПК₅, определенными с помощью разработанного биосенсора на основе системы, «поли(тионин)-НК» и дрожжей *B. adeninivorans* и значениями БПК₅, определенными стандартным методом

Статистическая обработка полученных данных показывает, что результаты метода стандартных разведений и с использованием биосенсора различаются незначительно. Таким образом, разработанный биосенсор на основе дрожжей *B. adeninivorans* и системы «поли(тионин)-НК» может быть эффективно использован для анализа различных проб воды.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-13-20021, <https://rscf.ru/project/23-13-20021/> и поддержки правительства Тульской области.

Библиографический список

1. Yang H. Au doped poly-thionine and poly-m-Cresol purple: Synthesis and their application in simultaneously electrochemical detection of two lung cancer markers CEA and CYFRA21-1 // *Talanta*. 2021. Vol. 224. P. 121816.
2. Mahbubur Rahman M., Lee J.-J. Sensitivity control of dopamine detection by conducting poly(thionine) // *Electrochem. commun.* 2021. Vol. 125. P. 107005.
3. A kinetic approach to the formation of two-mediator systems for developing microbial biosensors as exemplified by a rapid biochemical oxygen demand assay / A. S. Kharkova, V. A. Arlyapov, A. S. Plyukhina, O. N. Ponamoreva, V. A. Alferov, A. N. Reshetilov // *3 Biotech*. 2021. № 11. С. 1–13. doi: 10.1007/s13205-021-02709-8
4. Bioanalytical System for Determining the Phenol Index Based on *Pseudomonas putida* BS394(pBS216) Bacteria Immobilized in a Redox-Active Biocompatible Composite Polymer «Bovine Serum Albumin–Ferrocene–Carbon Nanotubes» / R. N Perchikov, D. V. Provotorova, A. S. Kharkova, V. A. Arlyapov, A. S. Medvedeva, A. V. Machulin, A. E. Filonov, A. N. Reshetilov // *Polymers*. 2022. № 14. С. 1–19. doi: 10.3390/polym14245366

РОСТ *ASPERGILLUS NIGER* AM1 НА ЛИГНИНСУЛЬФОНАТЕ И ДРЕВЕСИНЕ

*А. З. Миндубаев*¹, *Э. В. Бабынин*², *С. С. Тимофеева*³

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет,

² Татарский НИИАХП ФИЦ КазНЦ РАН,

³ Казанский государственный энергетический университет,

mindubaev-az@yandex.ru, edward.b67@mail.ru, zvezdochka198512@mail.ru

Отход целлюлозно-бумажной промышленности лигнинсульфонат подвергается деструкции *Aspergillus niger* AM1 и служит источником углерода для данного микроорганизма. Цельная же древесина хвойной породы не подвергается деструкции и подавляет рост. В целом, следует отметить способность *A. niger* AM1 подвергать деструкции вещества разнообразных классов, некоторые из которых являются промышленными отходами.

Ключевые слова: лигнинсульфонат, отходы деревообрабатывающей промышленности, древесина, биodeградация, *Aspergillus niger*.

Свою работу мы начинали с прорывного исследования микробного метаболизма белого фосфора [1]. Однако, с течением времени наметилась вполне закономерная и обоснованная тенденция к расширению палитры веществ, подвергаемых биodeградации исследуемыми штаммами грибов. Среди них такой важный вид промышленных отходов, как продукты деревообработки. Лигнин древесины это биополимер, обладающий высокой устойчивостью к различным воздействиям, в том числе биологическим. Разложением древесины занимаются специализированные грибы ксилотрофы [2]. Тем не менее, есть источники, сообщающие о разложении лигнина плесневыми грибами, в том числе черным аспергиллом [3].

Целью работы являлась проверка способности *Aspergillus niger* AM1 утилизировать продукты деревообработки.

Лигнинсульфонат представляет собой отход производства бумаги и, вероятно, получен из древесины ели. Изначально имел консистенцию порошка, но слежался. Имеет темно-коричневый цвет и слабый запах дыма. Возможно, запах дыма свидетельствует об образовании низкомолекулярных продуктов распада, например, гваякола. Хранился в темном и прохладном месте, в упакованном виде, на протяжении трех лет. Лигнинсульфонат частично растворим в воде, поскольку его молекулярная масса ниже, чем у нативного лигнина.

Древесные опилки хвойной породы, вероятно, сосны и имеют консистенцию сыпучего материала грубого помола, желтоватый цвет. Изначально они имели хвойный запах, который выветрился за годы хранения (хранились в темном месте, в упакованном виде, двенадцать лет).

Перед посевом материалы простерилизовали в автоклаве. Посев производили на среды – с глюкозой в качестве основного источника углерода, и без нее. С глюкозой сеяли в пробирки, а без глюкозы – в колбы на 150 мл. В колбах столб жидкости ниже, и мицелию гриба легче контактировать с субстратом, лежащим на дне емкости. В вариантах с глюкозой этот момент не столь существенен, поскольку растворенная глюкоза равномерно распределяется в объеме среды.

На лигнинсульфонате рост наблюдался через шесть суток после посева, как в присутствии глюкозы, так и без нее. В колбе грибок растет вдоль стенок, кольцом. В присутствии глюкозы через шесть суток уже наблюдалось спорообразование, а в отсутствии – нет.

Через одиннадцать суток в обоих случаях наблюдается спорообразование, а культуральная среда стала практически черной – возможно, от богатых меланином спор аспергилла. Грибок сформировал крупную колонию и интенсивно спороносит. Таким образом, AM1 способен перерабатывать лигнинсульфонат – отход переработки древесины. Конечно, следует иметь в виду, что в силу растворимости в воде лигнинсульфонат является более удобным субстратом по сравнению с нативным лигнином.

Интересно, что на древесных опилках рост не начался даже спустя тридцать девять суток. Даже среда с глюкозой производит впечатление стерильной – прозрачная и без взвесей. Если древесина действительно хвойной породы, она содержит компоненты живицы, которые могут обладать фунгицидным действием и угнетать рост аспергиллов [4].

Древесина и продукты ее технической переработки являются трудноусваиваемым питательным субстратом. Причина этого в том, что древесина представляет собой комплекс лигнина и целлюлозы. Оба этих вещества обладают высокой химической стабильностью и разлагаются только под действием специфических ферментов, и то достаточно медленно. Основными деструкторами древесины в природе являются грибы ксилотрофы, в первую очередь, трутовики. Различные их виды вызывают белую гниль древесины (разлагают лигнин и оставляют нетронутой целлюлозу), либо бурую гниль

(разлагают целлюлозу и оставляют лигнин). Как видим, полное разложение древесины не под силу одному виду грибов и осуществляется целым комплексом видов.

Черный аспергилл не относится к числу специализированных ксилотрофов. Поэтому, сложно ожидать от представителей данного вида способность использовать древесину в качестве источника углерода. Однако, наши исследования показали, что штамм AM1 хорошо растет на лигнинсульфонате в качестве единственного источника углерода. Лигнинсульфонат – отход целлюлозно-бумажной промышленности. В процессе извлечения клетчатки из древесины нативный лигнин уже подвергался заметной физико-химической деструкции и стал более усваиваемым для микроорганизмов. Значит, лигнинсульфонат является подходящим питательным субстратом и источником углерода для AM1.

Интересный результат дала попытка вырастить AM1 на опилках древесины хвойной породы. Рост отсутствовал даже при наличии глюкозы в культуральной среде – самого доступного источника углерода. Этому есть только одно объяснение: древесина содержит компоненты, оказывающие фунгицидное действие. Возможно, это следовые количества живицы.

Таким образом, *A. niger* AM1 способен утилизировать лигносульфонат, но не перерабатывает отходы цельной древесины.

В целом, следует отметить большое разнообразие пищевых субстратов, которые использует AM1. Этот гриб можно рассматривать как достаточно универсальный биодеструктор.

Библиографический список

1. Рост *Aspergillus niger* AM1 в культуральной среде с двумя токсикантами / А. З. Миндубаев, Й. А. Акосах, Е. К. Бадеева // Биодиагностика состояния природных и природотехногенных систем : материалы XX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2022. С. 243–246.
2. Evolutionary dynamics of host specialization in wood-decay fungi / F.-S. Krahl, C. Bässler, C. Heibl, J. Soghigian, H. Schaefer, D. S. Hibbett // BMC Evolutionary Biology. 2018. Vol. 18. No. 119. P. 1–13. doi: 10.1186/s12862-018-1229-7
3. Biodegradation of lignin by *Aspergillus niger* / V. Arutchelvan, K. R. Venkatesh, V. Muralikrishnan, S. Nagarajan // Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences. 2003. Vol. 5. No. 4. P. 603–606.
4. Биодegradация лигнинсульфоната при помощи *Aspergillus niger* AM1 / А. З. Миндубаев, Э. В. Бабынин, С. С. Тимофеева, Р. Ф. Камалов, Д. Д. Антех // Бутлеровские сообщения. 2023. Т. 73. № 2. С. 83–91. doi: 10.37952/ROI-jbc-01/23-73-2-83

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОЙ АЛЬГОФЛОРЫ ГАЗОНОВ ВДОЛЬ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ г. МИНСКА

А. С. Романюк, Е. Е. Гаевский

Белорусский государственный университет, gaevski@rambler.ru

Исследования проводились на городских почвах вдоль автомобильных дорог в черте города Минска. Имеется связь между степенью антропогенного пресса на почву и развитием в ней водорослей определенных отделов. Наиболее приспособленными к загрязнению оказываются водоросли из отделов Cyanophyta и Bacillariophyta, а наименее — Chlorophyta и Xanthophyta.

Ключевые слова: городские почвы, альгофлора, авторанспорт, загрязнение.

В настоящее время антропогенное воздействие на объекты живой природы постоянно возрастает. Рост промышленных предприятий, строительство новых автомобильных дорог и современная демографическая тенденция на Земле — урбанизация не лучшим образом сказываются на состоянии почвенных экосистем. Если загрязнению со стороны промышленных объектов подвержены, в большей степени, крупные города, то автотранспорт ежедневно загрязняет почву не только в городах с развитой промышленностью, но также почвы небольших городов, которые располагаются вдоль автомагистралей и близ транспортных узлов. Негативное воздействие на почвенную флору и фауну увеличивается вместе с развитием транспортного сообщения между различными городами и населенными пунктами. Некоторые виды исчезают, некоторые, наоборот, заселяют изменившуюся по физико-химическим показателям почву. Именно это и можно использовать в биоиндикации. Хорошо известны плюсы биоиндикации, в том числе с помощью почвенных водорослей [1].

Помимо того, что антропогенное воздействие отрицательно влияет на жизнь почвенных организмов, сами люди также подвержены этому негативному влиянию, однако замечают это на тех стадиях, когда это влияние выливается в различного рода заболевания. Изучая особенности флористического состава почвенных водорослей газонов и вдоль транспортных магистралей, можно дать предварительную экологическую оценку состояния почвы [2].

Целью данной работы является изучение влияния транспортной нагрузки воздействия на почвенные водоросли и цианобактерии в транспортной зоне г. Минска.

Для исследования были отобраны образцы почвы с 4 участков на юго-западе г. Минска. Участки отличаются между собой степенью транспортной нагрузки. Образцы почв были использованы для постановки культур с целью выявления видового состава почвенных водорослей и цианобактерий (среда Бристоль, среда Гусева № 2).

Исследование почвенной альгофлоры юго-западной части г. Минска в течение двух лет позволило установить видовой состав альгоцианофлоры транспортной зоны города.

В 2021 г. было выявлено 68 видов водорослей, из которых цианобактерии составляли 32 вида, диатомовые 17 видов, зеленые 9 видов и желтозеленые 10 видов. В 2022 г. – 64 вида водорослей, среди которых 30 видов цианобактерий, 15 видов диатомовых водорослей, 9 видов зеленых водорослей и 10 видов желтозеленых водорослей. По вкладу в формирование видового богатства почв всех исследуемых образцов как в 2021, так и в 2022 г. преобладают представители отдела Cyanobacteria.

Была отмечена связь между степенью антропогенного пресса на почву и развитием в ней водорослей определенных отделов. Наиболее приспособленными к транспортному загрязнению оказались водоросли из отделов Cyanobacteria и Bacillariophyta, а наименее – Chlorophyta и Xanthophyta.

Отмечена связь между степенью антропогенного загрязнения почвы и развитием в ней водорослей определенных экобиоморф. В 2021 и 2022 г. на загрязненных почвах отмечается увеличение представителей жизненных форм Р-, Сh-, В-форм и уменьшение или полное исчезновение CF-, С-, Н-форм.

Библиографический список

1. Неходимова С. Л., Фомина Н. В. Роль альгофлоры в экологической оценке антропогенно-преобразованных почв (обзорная статья) // Вестник КрасГАУ. 2013. № 2. С. 81–86.
2. Туровец В. Д., Краснов В. С. Биоиндикация : учебное пособие. Тверь : ТГУ, 2004. 260 с.

ПАМЯТИ РИММЫ ПАВЛОВНЫ НАУМОВОЙ (1933–2013), ОСНОВАТЕЛЬНИЦЫ НОВОГО НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ И ОЗДОРОВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М. В. Трушин

Казанский федеральный университет, mtrushin@mail.ru

Микробиология в Казанском университете развивается с середины XIX века. В конце 60-х годов прошлого века была открыта самостоятельная кафедра микробиологии под руководством профессора М. И. Беляевой. Одна из ее первых студенток и коллег — Римма Павловна Наумова, внесшая значительный вклад в развитие ряда новых направлений на кафедре.

Ключевые слова: Римма Павловна Наумова, Казанский университет, кафедра микробиологии, ксенобиотики, экологический биомониторинг.

19 ноября 2023 г. Римме Павловне Наумовой, профессору кафедры микробиологии Казанского университета исполнилось бы 90 лет. Она была талантливым педагогом и выдающимся ученым, основателем нового направления на кафедре микробиологии. Ее научные работы преимущественно посвящены утилизации отходов химической промышленности и оздоровлению окружающей среды.

Родилась Римма Павловна в Московской области и вскоре после окончания МГУ имени М. В. Ломоносова оказалась в Казани, став аспиранткой Казанского университета. В октябре 1964 г. досрочно закончила теоретический курс аспирантуры, а 29 октября 1964 г. вышел приказ ректора КГУ М. Т. Нужина о зачислении Риммы Павловны на должность ассистента кафедры физиологии растений и микробиологии. В 1966 г. Р. П. Наумова была назначена научным руководителем темы «Изучение распространения различных физиологических групп микроорганизмов в подпочвенных горизонтах нефтяных районов Татарии». В том же году ей была присуждена ученая степень кандидата биологических наук, диссертационная работа называлась «Превращение капролактама бактериями». В 1969 г. Р. П. Наумова была избрана доцентом кафедры физиологии растений и микробиологии, являлась руководителем студенческого кружка по микробиологии, вела большой практикум по микробиологии, практикум по общей микробиологии и методам исследования в микробиологии, руководила дипломными и курсовыми работами студентов, готовила лекционный курс по общей микробиологии и новый специальный курс «Физиология микроорганизмов», участвовала в разработке нового способом обезвреживания токсичных сточных вод. В середины 1970-х годов научные интересы ее были связаны с работами по оптимизации процесса очистки сточных вод от тринитротолуола. В 1977 г. она была утверждена в должности заведующей кафедрой микробиологии КГУ. К тому времени уже были налажены контакты с различными предприятиями (ВНИИПИМ (Тула), ВНИИПАВ (Щёкино), НИИХП, завод «Оргсинтез», «СК» (Казань)). В 1989 г. Римме Павловне была присуждена степень доктора биологических наук, а в 1992 г. присвоено звание «Заслуженный деятель науки Татарстана». Особенно активные исследования по очистке сточных вод и утилизации промышленных отходов проводились Риммой Павловной с коллегами в 1980-е – 90-е годы [1–3]. По данной тематике было опубликовано множество научных статей в журналах «Микробиология» (работы «Селекция и биохимическая активность микробного сообщества в процессе очистки концентрированных сточных вод», «Особенности распределения и физиологического состояния микроорганизмов нефтешлама – отхода нефтехимического производства», «Аэробная деградация 2,4,6-тринитротолуола штаммом дрожжей *Geotrichum candidum* an-z4»), «Химия и технология воды» («Использование экспресс теста на токсичность при очистке сточных вод производство органического синтеза», «Влияние глины на аэробное бактериальное разрушение тринитротолуола»), «Ученые записки Казанского университета» («Токсикологические аспекты биоремедиации нефтехимического шлама»), «Вестник Казанского

технологического университета» («Подготовка содержащего углеводороды шлама к биологическому обезвреживанию», «Углеводородный шлам: подготовка к фиторемедиации и оптимизация параметров обработки»), «Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе» («Предобработка твердого химического отхода перед его биоремедиацией»), «Биотехнология» («Биоремедиация отходов нефтехимического производства с использованием компостирования»). Кроме того, написаны учебные пособия и монографии, получены патенты на изобретения («Штамм бактерий *Pseudomonas stutzeri* – деструктор нефтяных алифатических и ароматических углеводородов, стимулятор роста растений и его использование», «Способ биоремедиации воды, загрязненной тринитротолуолом», «Способ обезвреживания углеводородсодержащих шламов», «Способ переработки шламов очистных сооружений нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», «Установка биологической обработки осадков сточных вод», «способ обезвреживания промышленных органических шламов»). Римма Павловна возглавляла Лабораторию экологического биомониторинга и биоремедиации, была научным руководителем диссертационных работ. В настоящее время направление, основанное ею, продолжает свое развитие. Римма Павловна была добрым и отзывчивым человеком, профессионалом своего дела, хорошим педагогом. Память о ней сохранится в наших сердцах.

Библиографический список

1. Феоктистова Н. В. Научная школа Р. П. Наумовой // Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2007. Т. 149. Кн. 2. С. 179–185.
2. Феоктистова Н. В. Наумова Римма Павловна (к юбилею) // Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2009. Т. 151. Кн. 1. С. 274–277.
3. Феоктистова Н. В. Памяти Риммы Павловны Наумовой // Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2013. Т. 155. Кн. 3. С. 254–256.

СЕКЦИЯ 4

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ЭКОЛОГИЯ *ANAPHALIS MARGARITACEA* (L.) A. GRAY И ЕГО БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ ВЯТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Е. В. Лелекова, Л. И. Хлебникова
Вятский государственный университет, usr20893@vyatsu.ru

В статье представлен обзор исследовательских работ разного плана, посвященных изучению *Anaphalis margaritacea* (L.) A. Gray. С позиций современной биоморфологии описана побеговая система особей. Жизненная форма растения охарактеризована как: травянистый летнезелёный длиннокорневищный многолетник с системой стеблеродных придаточных корней, удлинёнными монокарпическими дициклическими анизотропными побегами, полной поздней специализированной морфологической дезинтеграцией, геофит.

Ключевые слова: биоморфология, дициклический побег, морфологическая дезинтеграция, монокарпический побег.

Анафалис жемчужный – *Anaphalis margaritacea* (L.) A. Gray в России распространен в естественной среде во всех районах Дальнего Востока, где произрастает на достаточно освещенных слабозадернованных склонах, опушках, приморских лугах и вулканических шлаках [1].

Анафалис рассматривается с позиций его инвазивного потенциала [2], изучения полного генома хлоропластов и его филогенетических связей с другими представителями семейства Asteraceae [3], доли участия в природных сообществах [4], оценки продуктивности для производства семян [5], использования в озеленении городской среды [6, 7], в качестве составного элемента композиций из сухоцветов [8].

Кроме того, при исследовании химических компонентов, в надземных частях *A. margaritacea* были обнаружены: флавоноиды (кверцетин, галангин, тилирозид, спиреин, апигенин, алнузин и др.), лактоны и полиацетиленовые соединения. Экспериментально доказана инсектицидная активность *A. margaritacea* в опытах с водными экстрактами его надземных частей антибактериальная – в опытах с водными экстрактами листьев. Кроме того, экстрагированные масла, полученные из растения, наряду с эталонным антибиотиком гентамицином проявили в экспериментах антибактериальную активность в

отношении бактериальных штаммов *S. typhi*, *E. coli*, *S. aureus* и *P. aeruginosa* с различными мизонами ингибирования. Определена противоастматическая, отхаркивающая и противовоспалительная активность компонентов растения [1].

Весьма интересны и перспективны исследования экологически пластичного *A. margaritacea* в плане посадок на территориях, подверженных воздействию спонтанных пожаров. Так, исследования ученых в местах с легко воспламеняющейся растительностью и высокой пожароопасностью в Онтарио показали, что среди всех видов, распространенных в этих районах, у анафалиса выявлена самая низкая потенциальная воспламеняемость [9]. Посадка менее горючей растительности в зонах, подверженных пожарам может помочь предотвратить возгорание или замедлить распространение огня. Этот метод может стать долгосрочным, экономически эффективным и экологически чистым методом предотвращения пожаров и борьбы с ними в отдельных районах бореальных лесов.

Кроме того, анафалис жемчужный успешно тестируется в эксперименте по заселению жестких пемзовых субстратов на опустошенной вулканом пемзовой равнине Маунт-Сент-Хеленс в США [10]. Он показал высокую энергию роста молодых особей, выросших из семян, а также оказался наиболее устойчивым к внешним условиям из четырех видов растений, которые высаживались на разные экосистемы равнины.

В настоящей работе мы рассматриваем побеговое строение анафалиса с позиций современной биоморфологии и оцениваем особенности его структурной организации для изучения специфики вида в условиях интродукции в ботаническом саду Вятского государственного университета.

Ботанический сад располагается на территории Вятско-Камского биома широколиственно-хвойных лесов, входящего в состав биомов гемибореальных широколиственно-хвойных и мелколиственных лесов [11]. Особенности биоморфологии растения изучены осенью 2022 г. с применением классических методов и современных подходов [12–18]. Характеристику жизненной формы определяли по признакам, предложенным Н. П. Савиных [19]: число цветений и плодоношений; длительность жизни листьев; степень вегетативной подвижности; число центров воздействия на среду; длительность жизни особи; длительность жизни надземных осей; тип побеговых систем по способу нарастания; тип подземных органов; тип, время и степень морфологической дезинтеграции; положение почек возобновления в неблагоприятный период. Характеристика жизненной формы отдельной особи по алгоритму с большим набором признаков, в большей степени учитывающих специфику биоморфологии вида, позволяет достаточно полно характеризовать структурно-морфологические особенности растения с дальнейшим включением его в эколого-морфологическую систему жизненных форм.

Подземные органы растения представлены симподием из недолго живущих геофильных участков побегов последующих порядков ветвления. Они формируются осенью из почек возобновления на дуге корневища побега n -го порядка (материнского побега) и в первый год своего развития зимуют в виде

небольших удлинённых побегов с верхушечной почкой, покрытой чешуевидными листьями. Каждая почка анафалиса содержит 5–7 листовых зачатков и конус нарастания с апикальной меристемой.

С началом вегетационного периода почка на апикальном участке геофильного побега трогается в рост, и развитие дициклического побега $n+1$ порядка продолжается. При этом формируются метамеры плагитропного геофильного участка побега с длинными междоузлиями. В месте смены направления его нарастания на ортотропный (дуга корневища) формируются метамеры с более короткими междоузлиями и многочисленными почками возобновления. В надземной среде развиваются метамеры с типичными длинными междоузлиями и ассимилирующими листьями: простыми, ланцетноудлинёнными, расположенными очередно по всей длине, с густым войлочным опушением. На дистальном участке побега в пазухах ассимилирующих листьев формируются монокарпические силлептические побеги.

Щитковидное фрондулезное соцветие из корзинок завершает развитие монокарпического побега. Актиноморфные цветки *A. margaritacea* размером до 1 см; белого цвета, с бурым, зелёным или желтоватым оттенком. После цветения вызревает сухой плод семянка (0,4–0,5 см). В целом, соцветие анафалиса представляет собой синфлоресценцию.

Осенью из почек на дуге корневища побега $n+1$ порядка развиваются геофильные участки побегов $n+2$ порядка, продолжая симподиальное нарастание особи.

В строении монокарпического дициклического анизотропного побега *A. margaritacea* выделяем следующие структурно-функциональные зоны: 1) нижняя зона торможения (функция расселения, запаса питательных веществ и резервного возобновления); располагается в земле, представлена метамером с длинным междоузлием, чешуевидным листом и спящей почкой; 2) зона возобновления (развитие побегов замещения из почек возобновления после периода покоя); располагается в земле, представлена метамерами с более короткими междоузлиями, чешуевидными листьями, почками возобновления или геофильными побегами; 3) средняя зона торможения (вынос соцветия, фотосинтез); располагается в надземной среде; метамеры – с длинными междоузлиями и листьями срединной формации; 4) зона обогащения (дополнительное питание и репродукция); метамеры с длинными междоузлиями, ассимилирующими листьями и силлептическими побегами; 5) главное соцветие (репродукция).

Модульная организация *A. margaritacea* представлена элементарным, универсальным и основным модулями. Виды элементарных модулей: 1) узел с чешуевидным листом, пазушной почкой, длинным междоузлием и придаточными корнями; 2) узел с чешуевидным листом, почкой возобновления, придаточными корнями и междоузлием меньшей длины; 3) узел с чешуевидным листом, геофильным побегом $n+1$ порядка, придаточными корнями и междоузлием меньшей длины; 4) узел с листом срединной формации и длинным междоузлием; 5) узел с листом верховой формации, монокарпическим

силлептическим побегом и длинным междоузлием; б) узел с листом верховой формации, генеративной структурой и длинным междоузлием.

Универсальный модуль *A. margaritacea* определяем как дициклический монокарпический анизотропный удлиненный побег возобновления. В его состав входят силлептические побеги в зоне обогащения.

Основной модуль представлен недолго живущим симподием из резидовмонокарпических побегов, который формируется за один вегетационный период.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, жизненную форму *A. margaritacea* характеризуем как травянистый летнезеленый длиннокорневищный ацентрический многолетник с системой стеблеродных придаточных корней, удлиненными монокарпическими дициклическими побегами, ассимилирующими листьями, терминальным соцветием, с полной поздней специализированной морфологической дезинтеграцией, геофит. В условиях ботанического сада особи вида продуктивно развиваются и разрастаются, о чем свидетельствует стабильное увеличение площади популяции. Достаточные условия освещения, рыхлый грунт и регулярные подкормки положительно сказываются на семенной продуктивности и энергии вегетативного размножения.

Библиографический список

1. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 5. Семейство Asteraceae (Compositae). Часть 1. Роды *Achillea–Doronicum* / отв. ред. А. Л. Буданцев. СПб., М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2012. 317 с.

2. Бакей С. К. Дичающие представители семейства Asteraceae в пределах Новогрудской возвышенности // Молодежь в науке-2020 : тезисы докладов XVII Междунар. науч. конф. Минск : Изд-во «Белорусская наука», 2020. С. 114–116.

3. Hosona T., Itoa T., Makia M. The complete chloroplast genome sequence of *Anaphalis margaritacea* var. *yedoensis* (Asteraceae) and phylogenetic relationships within Gnaphalieae // Mitochondrial DNA. 2022. Part B. Vol. 7. No. 3. P. 563–565. doi: 10.1080/23802359.2022.2048213

4. Гришин С. Ю., Терехина Н. В. Растительный покров острова Матуа (Курильские острова) // Комаровские чтения. 2012. № 59. С. 188–229.

5. Archibald C. Seed production protocols for *Anaphalis margaritacea*, *Eriophyllum lanatum* and *Eriogonum umbellatum* // Native Plants Journal. 2006. No. 7 (1). P. 47–51. doi: 10.2979/NPJ.2006.7.1.47

6. Иванова Т. Н., Ефремова Л. П. Технология вегетативного размножения представителей семейства астровые в ботаническом саду-институте ПГТУ // Научному прогрессу – творчество молодых. 2016. № 3. С. 155–158.

7. Лебенкова Т. М., Зубик И. Н. Оценка перспективности выращивания природных декоративных многолетников для городского озеленения в условиях г. Москвы // Инновационные научные исследования. 2022. № 5–1 (19). С. 82–88. doi: 10.5281/zenodo.6613615

8. Бровкина Т. Я., Онищенко К. Г. Сортовые особенности и значение фазы срезки в технологии выращивания бессмертников на Юге России // Энтузиасты аграрной науки : Сборник статей по материалам междунар. конф., посвященной советскому и российскому организатору сельского хозяйства, академику ВАСХНИЛ и РАН, Герою Социалистическо-

го Труда И. Т. Трубилину. Краснодар : Изд-во «Кубанский государственный аграрный университет», 2016. С. 44–51.

9. Hogenbirk J. C., Sarrazin-Delay C. L. Using fuel characteristics to estimate plant ignitability for fire hazard reduction // *Water, Air and Soil Pollution*. 1995. Vol. 82. P. 161–170. doi: 10.1007/BF01182830

10. Titus J., Moral R. Seedling establishment in different microsites on Mount St. Helens, Washington, USA // *Plant Ecology*. 1998. Vol. 134 (1). P. 13–26. doi: 10.1023/A:1009765502741

11. Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы / под ред. Г. Н. Огуревой. М. : ФГБУ «ИГКЭ», 2020. 623 с.

12. Серебряков И. Г. О методах изучения ритмики сезонного развития растений в стационарных геоботанических исследованиях // *Уч. записки МГПИ имени В. П. Потемкина*. 1954. Т. 37. Вып. 2. С. 3–20.

13. Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений: Жизненные формы покрытосеменных и хвойных. М. : Высш. школа, 1962. 378 с.

14. Серебрякова Т. И. Жизненные формы и модели побегообразования наземно-ползучих многолетних трав // *Жизненные формы: структура, спектры и эволюция*. М. : Наука, 1981. С. 161–179.

15. Мусина Л. С. Эколого-морфологические взаимоотношения стержнекорневых и кистекорневых жизненных форм трав в некоторых группах сложноцветных : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1977. 14 с.

16. Борисова И. В., Попова Г. А. Разнообразие функционально-зональной структуры побегов многолетних трав // *Ботанический журнал*. 1990. Т. 75. № 10. С. 1420–1426.

17. Савиных Н. П. Модули у растений // Тезисы докл. II Междунар. конф. по анат. и морфол. растений. СПб., 2002. С. 95–96.

18. Савиных Н. П. Применение концепции модульной организации к описанию структуры растения // *Современные подходы к описанию структуры растений*. Киров, 2008. С. 47–69.

19. Савиных Н. П. О жизненных формах водных растений // *Гидрботаника: методология, методы* : Материалы Школы по гидрботанике. Рыбинск : ОАО «Рыбинский Дом печати», 2003. С. 39–48.

ВИДЫ РОДА *MEDICAGO* L. ВО ФЛОРЕ ТАРКАПЧИГАЙСКОГО БОТАНИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)

*А. С. Абдураимов*¹, *С. А. Данияров*¹, *Д. С. Абдураимова*²

¹ Гулистанский государственный университет, Abduraimov2017@inbox.ru,

² Академический лицей при ГулГУ

В статье представлены виды рода *Medicago* L., распространенные в Таркапчигайском ботанико-географическом районе, которые выявлены на основе анализа гербарных образцов, хранящихся в фонде Национального гербария (TASH) Института ботаники АН РУз, и полевых исследований. Всего зарегистрировано шесть видов этого рода. Составлены ГИС карты современного распространения некоторых хозяйственно-ценных видов.

Ключевые слова: флора, *Medicago* L., вид, Узбекистан, Таркапчигай.

В настоящее время в Узбекистане, где сосредоточено значительное мировое видовое разнообразие флоры и фауны, отмечается ухудшение состояния биологических ресурсов луговых, лесных, степных, пустынных и других экосистем. Многие виды стали редкими и находятся под угрозой исчезновения. Опасность потери богатства биологического разнообразия Узбекистана возрастает, так как в последнее время население стало вовлекать в хозяйственный оборот значительно больше биологических ресурсов [1].

Medicago L. (люцерна) – род однолетних и многолетних трав или полукустарников семейства бобовые (Fabaceae), насчитывающий около 100 видов. Представители рода в основном обитают в Средиземноморской области. Среди них встречаются крупные кормовые растения.

Исследования проведены в Таркапчигайском ботанико-географическом районе (2018–2020 гг.). Он включает западные отроги Гиссарского хребта, расположенные к югу от Гузара и Дехканабада, на левобережье Кичик-Урадарьи и в бассейне реки Таркапчигай (горы Элликбаш, Сакрытау и др.). Юго-восточная граница района проходит по левому водораздельному гребню Таркапчигая. С севера район ограничивает долина Кичик-Урадарьи и Гузардарьи. Интервал высот от 450–500 до 2172 м над у. м. (рис.) [2, 3].

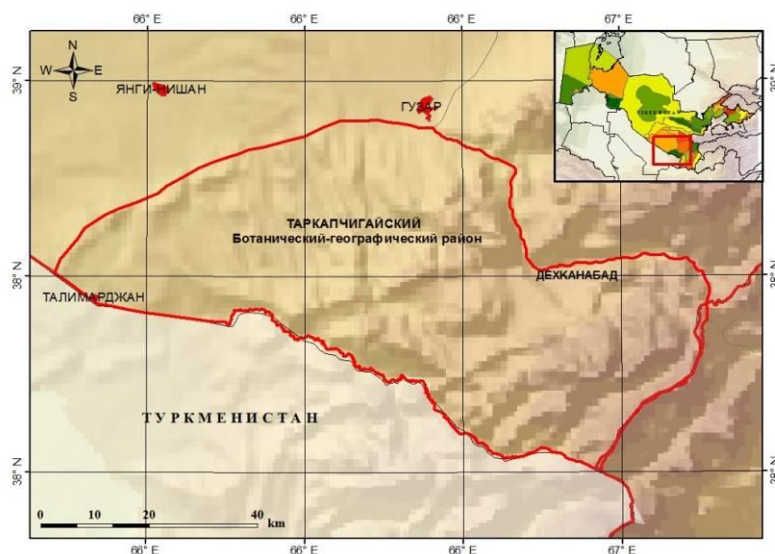


Рис. Таркапчигайский ботанико-географический район

Полученные в ходе полевых исследований данные и гербарные образцы, хранящиеся в Национальном гербарии (TASH) Института ботаники АН РУз, критически проанализированы. В результате выявлено, что в районе произрастает шесть видов рода *Medicago*.

Ниже приведен перечень видов, биологический тип, их значение и основные местообитания.

1. *Medicago lanigera* C.Winkl. & V.Fedtsch. – люцерна шерстистая. Терофит. Кормовое, лекарственное, медонос. Глинистые пустыни, лессовые, мелкоземистые, щебнистые склоны, долины рек, сухие русла, осыпи, выходы пестроцветных пород. Равнина, предгорья, низкогорья.

2. *Medicago lupulina* L. – люцерна хмелевидная. Терофит. Кормовое, лекарственное, медонос. Каменисто-щебнистые, лессовые субстраты. Предгорья, нижний пояс.

3. *Medicago monantha* (С.А.Мей.) Trautv. – люцерна одноцветковая. Терофит. Кормовое. Мелкоземисто-щебнистые, песчаные субстраты. Предгорья, нижний пояс.

4. *Medicago radiata* L. – люцерна лучевая. Терофит. Кормовое, медонос. Каменистые, щебнистые склоны, выходы песчаников, известняков, злаково-полынные сообщества. Низкогорья, среднегорья.

5. *Medicago sativa* L. – люцерна посевная. Гемикриптофит. Кормовое, лекарственное, медонос. Мелкоземистые, щебнистые, каменистые склоны, луга, осыпи, долины рек, галечники, сады, пастбища, поля, залежи, обочины дорог (одичавшее), широко культивируется. Равнина, предгорья, низкогорья, среднегорья.

6. *Medicago transoxana* Vassilcz. – люцерна заамударьинская. Гемикриптофит. Кормовое, медонос. Мелкоземистые, каменистые, глинисто-щебнистые. Предгорья, нижний пояс.

Следует отметить, что в районе исследования наблюдается круглогодичный регулярный выпас скота местным населением. Поэтому необходимо изучение состояния представителей этого рода в локальной флоре.

Выявленные по распространению представителей рода данные используются при формировании современного списка флоры и создании кадастра сосудистых растений Таркапчигайского ботанико-географического района. Полученные научные результаты используются в сохранении биологического разнообразия растений и в ведении многолетних мониторинговых работ природоохранных организаций.

Растения, собранные в Таркапчигайском ботанико-географическом районе, послужат обогащению фонда Национального гербария (TASH).

Библиографический список

1. Абдураимов А. С., Данияров С. А., Абдураимова Д. С. Виды рода *Tamarix* L. флоры Таркапчигайского ботанико-географического района (Узбекистан) // Основные, малораспространенные и нетрадиционные виды растений – от изучения к внедрению (сельскохозяйственные и биологические науки) : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. Круты, 2023. С. 11–15.

2. Абдураимов А. С. Флора Таркапчигайского ботанико-географического района : автореф. дис. ... д-ра философии (PhD) по биологическим наукам. Ташкент, 2021. 44 с.

3. Тожибаев К. Ш., Бешко Н. Ю., Попов В. А. Ботанико-географическое районирование Узбекистана // Ботан. журн. 2016. № 10 (101). С. 1105–1130.

АРЕАЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЕМЕЙСТВА AMARANTHACEAE ФЛОРЫ МИРЗАЧУЛЬСКОГО БОТАНИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНА (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)

Э. А. Убайдуллаев, А. С. Абдураимов

Гулистанский государственный университет, Abduraimov2017@inbox.ru

В статье приведен ареалогический анализ семейства *Amaranthaceae* флоры Мирзачульского ботанико-географического района. По результатам исследования выявлено, что во флоре присутствуют виды со среднеазиатским (34), древнесредиземноморским (24), палеарктическим (15), плюрирегиональным (6) и горносреднеазиатским (2) ареалами.

Ключевые слова: Мирзачуль, ареал, Средняя Азия, Древнее Средиземноморье, Палеарктика, горная Средняя Азия.

Мирзачульский ботанико-географический район (МБГР) занимает аллювиально-пролювиальные равнины на левом берегу Сырдарьи. Мирзачул занимает территорию Чордаринского водохранилища в провилах Ферганской долины на востоке и Тузконе на западе. В прошлом Мирзачул представлял собой сухую глинистую пустыню с эфемерными растениями и солончаками. Кочевники скотоводы использовали эти территории как весенние пастбища. В отличие от Каршинской пустыни или Нуротинской равнины, полынные и ксерофильные многолетние сообщества на этих территориях не играли существенной роли. В настоящее время почти все территории региона заняты рукотворными ландшафтами. Лишь небольшие участки природных экосистем сохранились на берегах озера Тузкон, у подножия Туркестанского хребта и на Сырдарьинской равнине [1].

Отмечено, что естественный ареал видов флоры Мирзачульского ботанико-географического района отнесен к 18 типам. Эти типы ареалов входят в состав 6 классов ареалов.

В ходе исследований проанализировано распределение видов семейства *Amaranthaceae* по типам ареала и их доля во флоре. Результат анализа типов территорий показывает, что первое место во флоре МБГР по численности занимают туранский (21), среднеазиатский (13), ирано-среднеазиатский (11), ирано-туранский (7), голарктический (7), плюрирегиональный (6) типы ареалов видов (табл.).

При анализе типов местообитаний по классам местообитаний установлено, что видов, принадлежащих к среднеазиатскому классу местообитаний больше (34/38,76%) – это *Amaranthus thellungianus*, *Anabasis turkestanica*, *Atriplex moneta*, *Atriplex pedunculata*, *Caroxylon turkestanicum*, *Climacoptera longistylosa*, *Climacoptera merkulowiczii*, *Climacoptera minkvitziae*, *Halimocnemis mollissima*, *Halimocnemis villosa* и ряд других видов из семейства *Amaranthaceae*.

Ареалогические группы Мирзачульского ботанико-географического района

№	Классы ареалов и типы в них	Число видов, шт.	Доля, %
1	Горно-среднеазиатский	1	1,13
2	Западно-т Тяньшанско-западно-памиралайский	1	1,13
I	Класс ареала Горно-среднеазиатский	2	2,26
3	Туранский	21	23,99
4	Среднеазиатский	13	14,77
II	Класс ареала Среднеазиатский	34	38,76
5	Ирано-туранский	7	7,95
6	Ирано-среднеазиатский	11	12,5
7	Иранский	1	1,13
8	Древнесредиземноморский	3	3,40
9	Восточно-древнесредиземноморский	2	2,26
III	Класс ареала Древнесредиземноморский	24	27,24
10	Евро-древнесредиземноморский	2	2,26
11	Сибирско-среднеазиатский	1	1,13
12	Евросибирско-среднеазиатский	3	3,40
13	Палеарктический	3	3,40
14	Понтико-древнесредиземноморский	1	1,13
15	Южно-палеарктический	2	2,26
16	Понтико-восточнодревнесредиземноморский	3	3,40
IV	Класс ареала Палеарктический	15	16,98
17	Голарктический	7	7,95
V	Класс ареала Голарктический	7	7,95
18	Плюрирегиональный	6	6,81
VI	Класс ареала Плюрирегиональный	6	6,81
	Всего:	88	100

Класс ареала среднеазиатский включает пять типов: ирано-туранский, ирано-среднеазиатский, иранский, древнесредиземноморский, восточно-древнесредиземноморский. К этому ареальному классу относятся *Atriplex flabellum*, *Gamanthus gamocarpus*, *Girgensohnia oppositiflora*, *Halocnemum strobilaceum*, *Halothamnus subaphyllus*, *Haloxylon ammodendron*, *Haloxylon persicum*, *Petrosimonia sibirica*, *Salsola arbusculiformis*, *Xylosalsola arbuscula* и ряд других видов семейства.

15 видов (или 16,98%) семейства *Amaranthaceae* во флоре МБГР имеют палеарктический ареал. К ним относятся *Amaranthus albus*, *Anabasis aphylla*, *Atriplex tatarica*, *Axyris prostrata*, *Bassia hyssopifolia*, *Bassia prostrata*, *Bassia scoparia*, *Caroxylon orientale*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Nanophyton erinaceum*, *Nanophyton iliense*, *Salsola collina*, *Salsola tragus*, *Suaeda physophora*. Среди этих видов *Atriplex tatarica* и *Caroxylon orientale* занимают большие площади, по сравнению с другими.

Голарктический ареал имеют семь видов (или 7,95%) семейства *Amaranthaceae*, которые широко распространены в регионе МБГР. К ним

относятся *Amaranthus blitoides*, *Amaranthus deflexus*, *Blitum virgatum*, *Dysphania botrys*, *Oxybasis chenopodioides*, *Oxybasis rubra*, *Oxybasis urtica*.

Плюрирегиональный ареал имеют шесть видов (или 6,8%): *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Chenopodium vulvaria*, *Chenopodium murale*, *Oxybasis glauca*.

Библиографический список

1. Тожибаев К. Ш., Бешко Н. Ю., Попов В. А. Ботанико-географическое районирование Узбекистана // Ботан. журн. 2016. № 10 (101). С. 1105–1130.

МАТЕРИАЛЫ К ФЛОРЕ ВЫСШИХ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ 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*

Исследована флора высших сосудистых растений лесного заказника «Ляльский» республиканского значения, расположенного в подзоне средней тайги Республики Коми. В результате исследований выявлено, что флора имеет типичные бореальные черты, большинство показателей проведенных анализов характерны для среднетаежных флор. Отмечено пять видов, которые нуждаются в биологическом надзоре и включены в приложение к Красной книге Республики Коми.

и включены в приложение к Красной Книге Республики Коми [1].

Ключевые слова: флора, сосудистые растения, лесной заказник, географический анализ флоры, подзона средней тайги, охраняемые растения.

Республика Коми (РК), расположенная на европейском северо-востоке России, отличается от сопредельных регионов значительным разнообразием природных комплексов. 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 244 ООПТ, четыре из которых – Печоро-Илычский государственный природный биосферный заповедник, Национальные парки «Югыд ва» и «Койгородский», государственный природный заказник «Параськины озера» имеют федеральный статус, 238 – 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 [2–5].

Несмотря на расположение РК в Европейской части России, с ботанической точки зрения территория республики до сих пор остается мало изученной, многие районы не посещались ботаниками. Со второй половины 1980-х годов специалисты Института биологии Коми НЦ УрО РАН начали планомерную инвентаризацию флор сосудистых растений крупнейших ООПТ федерального значения, расположенных в предгорьях и горах Северного и Приполярного Урала, а инвентаризация резерватов республиканского значения началась только с 2000 г. и на данный момент почти завершена [2, 3, 5]. Но как оказалось, не во всех резерватах проведены исследования определённых групп биоразнообразия, например, в лесных заказниках отсутствуют данные о флористическом разнообразии [4, 6].

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.

В данный момент на территории резервата расположен научный стационар Института биологии Коми НЦ УрО РАН, где проводятся постоянные стационарные лесобиологические исследования [4]. Данные о видовом составе флоры высших сосудистых растений отсутствовали. Списки видового состава локальной флоры документированы гербарными сборами, хранящимися в гербарии Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO). Определение растений выполнено с использованием монографии «Флора Северо-Востока европейской части СССР» и других сводок [7]. Данная сводка использована и при отнесении вида к географическим группам ареалов. Названия растений и расположение семейств приводятся по сводке С. К. Черепанова [8].

Летом 2023 г. проведены ботанические исследования с целью выявления видового состава флоры высших сосудистых растений. В результате полевых исследований в лесном заказнике «Ляльский» выявлено, что здесь произрастает 210 видов сосудистых растений (споровые, голосеменные, покрытосеменные), относящихся к 136 родам и 51 семейству. Почти все выявлен-

ные виды являются характерными для таежной зоны и встречаются в типичных для них местообитаниях – леса, небольшие лесные болота, зарастающие пашни и луга. К споровым растениям относится 12 видов, которые представлены папоротниками, хвощами и плаунами. Четыре вида относятся к папоротникам – *Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Dryopteris carthusiana* (Vill.) Н.Р. Fuchs, *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newm. Пять видов относятся к хвощам – *Equisetum arvense* L., *E. fluviatile* L., *E. palustre* L., *E. pratense* Ehrh., *E. sylvaticum* L. Хвощи довольно обычны и часто встречаются во всех сообществах, особенно в лесных. Три вида относятся к плаунам – *Lycopodium annotinum* L., *Lycopodium clavatum* L., *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub, которые обычны в еловых и сосновых лесах. Пять видов принадлежат к голосеменным растениям, которые представлены хвойными растениями – *Abies sibirica* Ledeb., *Larix sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sylvestris* L., *Juniperus communis* L. *Picea obovata* и *Pinus sylvestris* являются основными породами в лесных сообществах, а *Larix sibirica* и *Abies sibirica* отмечаются как примесь или в виде подростка в еловых и смешанных лесах. Остальные виды (193) относятся к покрытосеменным или цветковым растениям, из которых 52 вида – это однодольные (семейства Alismataceae Vent., Poaceae Barnhart, Cyperaceae Juss., Juncaceae Juss., Melanthiaceae Batsch, Trilliaceae Lindl., Convallariaceae Horan., Orchidaceae Juss.), а 141 вид растений – двудольные (семейства Salicaceae Mirb., Betulaceae S.F. Gray, Urticaceae Juss., Polygonaceae Juss., Chenopodiaceae Vent., Caryophyllaceae Juss., Ranunculaceae Juss., Brassicaceae Burnett, 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., Apiaceae Lindl., Pyrolaceae Dumort., Ericaceae Juss., Primulaceae Vent., Boraginaceae Juss., Lamiaceae Lindl., Scrophulariaceae Juss., Plantaginaceae Juss., Rubiaceae Juss., Caprifoliaceae Juss., Adoxaceae Trautv., Valerianaceae Batsch, Campanulaceae Juss., Asteraceae Dumort). Соотношение двудольных и однодольных составляет 2,7:1.

Наибольшим разнообразием отличаются семейства Poaceae и Asteraceae и насчитывают по 22 вида каждое; Cyperaceae и Rosaceae – с 14 видами каждое, Ranunculaceae – с 11, Caryophyllaceae – с 9, Salicaceae и Fabaceae – с 8 видами; Ericaceae, Scrophulariaceae, Orchidaceae с 7 видами каждое. Остальные семейства включают от 1 до 6 видов. Всего десятка ведущих семейств включают более половины всех видов флоры.

Географический анализ флоры по составу широтных групп показал преобладание бореальных видов, к числу которых относится 78,1% выявленных сосудистых растений. Большинство бореальных видов – это широко распространенные таксоны, нередко являются доминирующими и ценообразующими видами почти всех сообществ – *Betula pubescens* Ehrh., *Picea obovata*, *Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin., *Carex aquatilis* Wahlenb., *Carex globularis*

L., *Bistorta major* S.F. Gray, *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Cirsium heterophyllum* (L.) Hill.

Суммарное участие северных широтных групп составило 7,2%. Арктических видов в нашей флоре нет. Из аркто-альпийских видов (0,5%) отмечена только *Alchemilla murbeckiana* Bus. Из гипоарктических видов (6,7%) – *Avenella flexuosa* (L.) Drej., *Eriophorum vaginatum* L., *Carex paucipercula* Michx., *Euphrasia frigida* Pugsl., *Ranunculus propinquus* Tzvel., *Empetrum hermaphroditum* Hagerup и др. Большинство видов северных широтных групп являются реликтами перигляциальной флоры и обитают в основном в холодных тундроподобных сообществах.

Южные широтные группы представлены неморально-бореальными (12 видов, или 5,7%) и неморальными (3 вида, или 1,4%) видами. Среди неморально-бореальных видов отмечены: *Phegopteris connectilis*, *Melica nutans* L., *Crepis paludosa* (L.) Moench, *Milium effusum* L., *Poa nemoralis* L., *Paris quadrifolia* L., *Padus avium* Mill., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Daphne mezereum* L., *Glechoma hederacea* L., *Lamium album* L., *Veronica chamaedrys* L. Из неморальных видов выделены следующие растения: *Carex digitata* L., *Stellaria holostea* L., *Viola mirabilis* L. Виды с полизональным распространением, т.е. которые встречаются в нескольких природных зонах, – составляют 7,6% флоры, эти виды являются сорными и водными – *Equisetum arvense*, *Equisetum palustre*, *Poa annua* L., *Cerastium holosteoides* Fries, *Callitriche cophocarpa* Sendtner и др. В связи с тем, что данная местность находится недалеко от населенных пунктов и федеральной автодороги, то по количеству полизональных видов можно сказать, что флора испытывает среднее антропогенное воздействие со стороны внешней среды. Данные виды являются местными аборигенными сорными, не являются чужеродными или заносными с других территорий.

В составе флоры среди долготных групп преобладают виды с широкими евразийскими и голарктическими ареалами (45,7% и 33,3% соответственно), которые обычны во всех сообществах и нередко являются доминантами и содоминантами: *Festuca ovina* L., *Veratrum lobelianum* Bernh., *Carex rostrata* Stokes, *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Rubus chamaemorus* L., *Parnassia palustris* L., *Pyrola rotundifolia* L. и др. К азиатским видам относятся всего 5,3%, это основные древесные породы – *Picea obovata*, *Abies sibirica*, некоторые виды кустарников – *Atragene sibirica* L., *Ribes hispidulum* (Jancz.) Pojark., *Lonicera pallasii* Ledeb. и некоторые травянистые растения – *Calamagrostis purpurea*, *Rubus humilifolius* C.A. Mey., *Stellaria bungeana* Fenzl. Видов с европейскими ареалами больше в два раза, чем азиатских, это закономерно в связи с нахождением территории в Европейской части и на западе Республики Коми – 13,3% – *Dryopteris carthusiana*, *Carex digitata*, *Salix pentandra* L., *Trollius europaeus* L., *Rosa acicularis* Lindl., *Angelica archangelica* L. и др. Космополитных видов пять – *Poa annua*, *Chenopodium album* L., *Stellaria media* (L.) Vill., *Callitriche cophocarpa*, *Plantago major* L., которые являются сорными и обнаружены вдоль лесных дорог, на старых кострищах.

В результате исследований флоры и последующих анализов было выявлено, что флора лесного заказника «Ляльский» 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 пяти видов, которые нуждаются в биологическом надзоре и включены в приложение к Красной книге Республики Коми [1] – *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo, *Gymnadenia conopsea* (L.) R.Br., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Viola mirabilis*. Первые четыре вида принадлежат к семейству орхидные, а фиалка удивительная – к семейству фиалковые.

Собранные образцы растений и лишайников хранятся в УНУ «Научный гербарий Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO)».

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. Красная книга Республики Коми : третье издание, официальное. Сыктывкар : ООО «Коми республиканская типография», 2019. 768 с.
2. Особо охраняемые природные территории (ООПТ) [Электронный ресурс]. – URL: <http://mpr.rkomi.ru/deyatelnost/osobo-ohranyaemye-prirodnye-territorii-oopt> (дата обращения: 28.03.2023).
3. Национальный парк Югыд ва / под ред. В. И. Пономарева. М. : Дизайн. Информация. Картография, 2001. 208 с.
4. Кадастр особо охраняемых природных территорий Республики Коми / под ред. С. В. Дёгтевой, В. И. Пономарева. Сыктывкар : Кировская обл. тип., 2014. 428 с.
5. 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. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 483 с.
6. Дёгтева С. В., Ермаков А. А. Схема развития и размещения особо охраняемых природных территорий Республики Коми // Изв. Коми НЦ УрО РАН. Сер. Экспериментальная биология и экология. 2021. № 5 (51). С. 5–12.
7. 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.
8. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / под ред. Г. С. Розенберга, С. В. Саксонова. СПб. : Мир и семья, 1995. 990 с.

ЛИШАЙНИКИ ПРИРОДНОГО РЕКРЕАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА «СОСНОВЫЙ БОР ОСТРОВА ЯГРЫ» (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Т. Н. Пыстина¹, Т. А. Парина², О. Д. Леонова²

¹ Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, t.pystina@ib.komisc.ru,

² Северный (Арктический) федеральный университет
имени М. В. Ломоносова, t.parinova@narfu.ru

В статье представлены первые данные о разнообразии лишайников природного рекреационного комплекса «Сосновый бор острова Ягры». Изучен видовой состав лишайников сосновых лесов, испытывающих разную степень антропогенной нагрузки. Выявлены виды, характерные для старовозрастных малонарушенных лесов. Установлено, что наиболее интенсивно посещаемые участки леса испытывают значительный антропогенный пресс, что выражается в смене видового состава лишайников, различных морфологических повреждениях их талломов, поражении лишенофильными грибами.

Ключевые слова: лишайники, Ягры, *Vacidina assulata*, дюнные сосняки, нарушенные территории.

Ягры – намывной морской песчаный остров, расположенный в районе Летнего берега Белого моря в устье р. Северная Двина. На острове находится жилой район г. Северодвинска, судоремонтное предприятие «Звёздочка», воинский мемориальный комплекс, набережная и прогулочные участки. Уникальность острову придают песчаные пляжи, имеющие протяжённость более 4 км и ширину около 100 м, которые, встречаясь с сосновым бором, образуют цепочку дюн высотой до 15 м. Дюны покрыты редкостойными сосняками и березовым криволесьем. За дюнами расположена плоская равнина, занятая болотами и заболоченными сосновыми или березовыми лесами. В настоящее время у местных жителей это одно из самых популярных мест отдыха [1–3].

На острове Ягры решением Муниципального Совета г. Северодвинска 30 мая 2002 г. была учреждена особо охраняемая природная территория (ООПТ) местного значения – природный рекреационный комплекс «Сосновый бор острова Ягры» площадью 184,4 га. ООПТ располагается на западе острова к северу от Северодвинска, между Двинским заливом Белого моря и р. Ягоркой.

Цель создания резервата – сохранение дюнного ландшафта береговой косы острова Ягры, в том числе уникального двухсотлетнего соснового леса (бора) - сосняка дюнного, а также создание условий для отдыха граждан и сохранения рекреационных ресурсов. Сосняк дюнный в Архангельской области является редкой лесной экосистемой и представляет большую экологическую ценность, так как является примером закрепления песков лесами [3]. На охра-

няемой территории основными экосистемами являются лесные насаждения (из них сосняки составляют 72%), болота и тростниковые заросли.

В 2022 г. в ходе маршрутов в различных природных сообществах ООПТ собрана небольшая коллекция лишайников, при определении которой установлено произрастание 48 видов.

В 2023 г. изучение разнообразия лишайников продолжено на 32 временных пробных площадях (ПП), заложенных в сосновых лесах, испытывающих разную степень антропогенного воздействия (слабую, умеренную, сильную) (рис. 1). В результате идентификации образцов (около 560) составлен список лишайников и таксономически близких к ним грибов, включающий 114 видов и внутривидовых таксонов. В настоящее время определена большая часть коллекции за исключением некоторых соредиозных форм, идентификация которых требует применения методов хемосистематики. Часть накипных лишайников удалось идентифицировать только до рода, поскольку их апотеции были недоразвиты (имели небольшие размеры, в сумках отсутствовали споры), деформированы или поражены лихенофильными грибами. Определение образцов проводили по общепринятой в лихенологии методике в отделе флоры и растительности Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Образцы хранятся в УНУ «Научный гербарий Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO)». Названия видов, упоминающихся в статье, даны согласно сводке M. Westberg et al., 2021 [4].

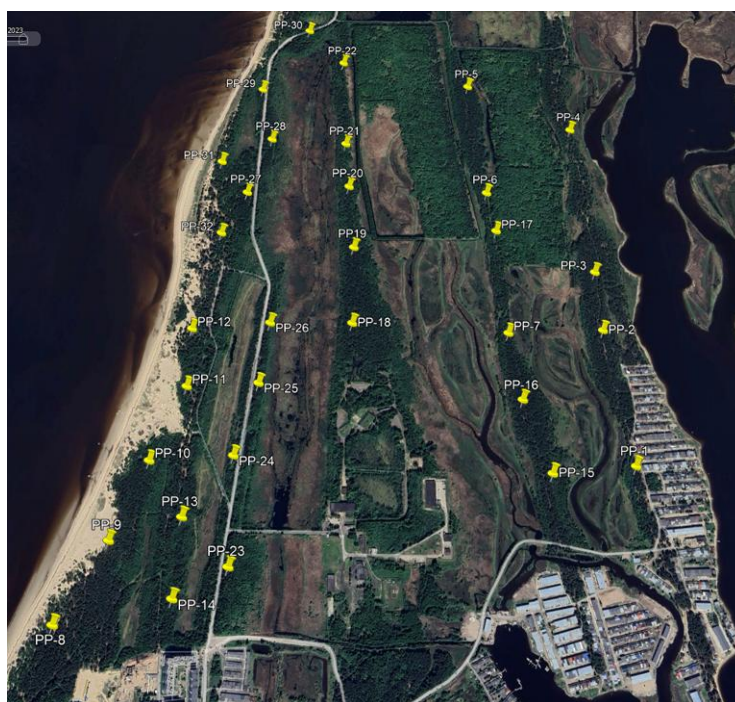


Рис. 1. Расположение пунктов сбора образцов лишайников

Биота лишайников обследованных сосновых лесов охраняемой территории «Сосновый бор острова Ягры» представлена в основном типичными и часто встречающимися в таежных лесах видами. Часто встречались *Cladonia coniocraea*, *C. fimbriata*, *Fuscidea pusilla*, *Hypocenomyce scalaris*, *Hypogymnia*

physodes, *Japewia subaurifera*, *Lecanora pulicaris*, *Lecidea nylanderi*, *Melanohalea olivacea*, *Parmelia sulcata*, *Parmeliopsis ambigua*, *P. hyperopta*, *Scoliciosporum chlorococcum*, *Vulpicida pinastri*. Несколько реже – *Bryoria fuscescens*, *Cladonia chlorophaea*, *Myriolecis hagenii*, *Lecanora symmicta*, *Lecidea albofuscescens*, *Lepraria jackii*, *Micarea prasina*, *Tuckermannopsis chlorophylla* и др. Редких лишайников, охраняемых в Архангельской области, не выявлено, однако были сделаны интересные находки. К их числу можно отнести такие виды как *Coenogonium pineti* и *Gyalecta fagicola*, приуроченные в основном к старым лесам и влажным местообитаниям. Впервые для Архангельской области приводится эпифитный накипный лишайник *Bacidina* cf. *assulata*, который собран на коре *Sorbus aucuparia* в сосняке с березой мелко-травно-черничном. Ближайшие местонахождения вида отмечены в Мурманской и Ленинградской областях, в Республике Марий Эл [5, 6].

Анализ распределения видов по пробным площадям, расположенным в сосняках, испытывающим разную степень антропогенного воздействия, показал, что наибольшее число видов отмечено на участках с умеренной нагрузкой. На ПП со слабым и сильным воздействием зарегистрировано примерно одинаковое число видов (рис. 2). Выявленная закономерность вполне объяснима, поскольку фитоценозы, испытывающие умеренную степень нагрузки – переходные, где отмечается смешение тех видов, которые постепенно уходят из сообществ, и тех, что приходят им на смену. Не исключено, что более высокое видовое разнообразие лишайников на участках с умеренным антропогенным прессом обусловлено и их большей численностью – 14, в то время как площадок с сильной и слабой нагрузкой было заложено по 9 штук. Показателем, позволяющим оценить видовое богатство, косвенно и степень нарушенности сообществ, является среднее число видов на ПП. По этому показателю лидируют слаборазрушенные площади, меньше всего на участках с умеренным воздействием.

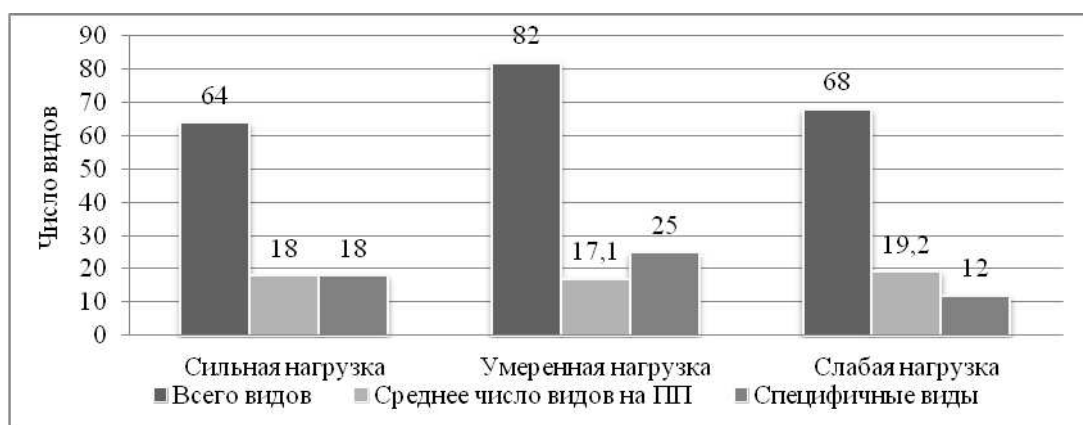


Рис. 2. Общее число видов, среднее число видов на ПП и число специфичных видов лишайников в сосновых лесах, испытывающих разную степень антропогенной нагрузки

Число специфических видов (т. е. встречающихся только в данной группе сообществ) выше всего на ПП, заложенных в сосняках с умеренной антропогенной нагрузкой. Здесь найдены достаточно редко встречающиеся в бореальных лесах лишайники *Coenogonium pineti* и *Gyalecta fagicola*, а также новый для Архангельской области вид *Bacidina cf. assulata*. На втором месте по числу специфических видов следуют лесные фитоценозы, испытывающие сильное воздействие. Среди специфических видов в них высока доля участия эпигейдов (7 из 18 видов, или 25%). Это представители родов *Cladonia* (*C. gracilis* ssp. *turbinata*, *C. ochrochlora*, *C. pleurota*, *C. subulata*) и *Peltigera* (*P. didactyla*, *P. polydactylon*, *P. praetextata*). На часто посещаемых людьми лесных участках травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы повреждены, поэтому выбитые участки почвы занимают эпигейные виды лишайников. На ПП со слабой степенью нагрузки четверть специфических видов составляют представители эпиксильной субстратной группы – *Calicium glaucellum*, *Carbonicola anthracophila*, *C. myrmecina*, *Xylopsora friesii*. Необходимо отметить, что на слабо нарушенных найдены довольно редкие в таежных лесах лишайники *Calicium glaucellum* и *Ochrolechia alboflavescens*. Как правило, эти виды приурочены к старовозрастным малонарушенным насаждениям.

Распределение лишайников по субстратам выявило преобладание видов, заселяющих живые деревья и кустарники – 85 (рис. 3). Наибольшее число лишайников отмечено на *Pinus sylvestris* (41) и *Betula pubescens* (39), что вполне закономерно, поскольку это основные лесообразующие породы деревьев на острове. Далее следует *Sorbus aucuparia* (25). На *Salix* spp., *Populus tremula* и *Alnus* spp. разнообразие лишайников меньше, на коре *Juniperus communis* найдено всего 2 вида. Вторую позицию по численности занимают лишайники, обитающие на различных видах мертвой древесины (валёж, пни, остолопы), – 57 видов. Всех меньше лишайников зафиксировано на почве (23 вида).

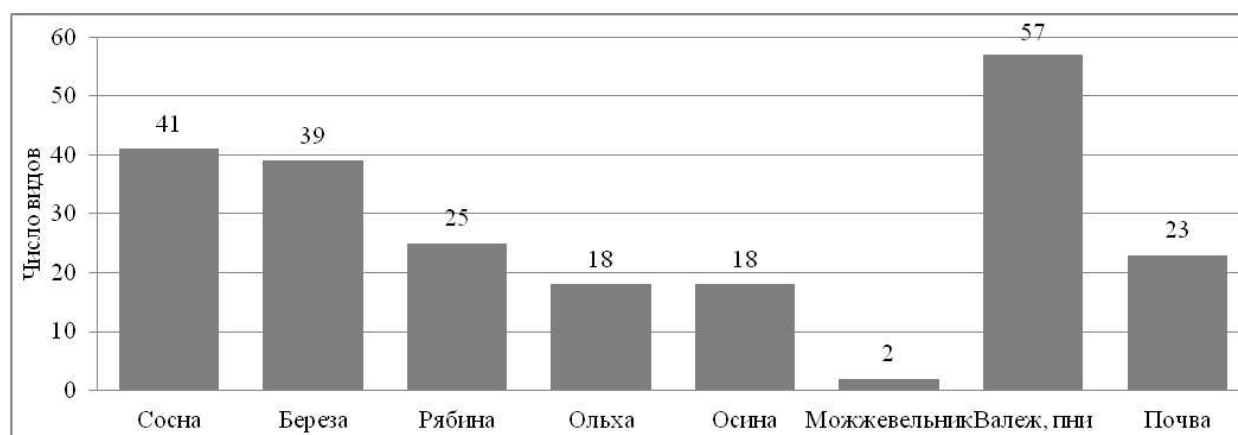


Рис. 3. Распределение лишайников по субстратам

Как уже было отмечено выше, часть собранного материала не удалось определить до вида, в отдельных случаях и до рода. Прежде всего это отно-

сится к лесным участкам, испытывающим сильную антропогенную нагрузку. У накипных лишайников наиболее часто регистрировалось отсутствие спор в апотециях и сильное поражение лихенофильными грибами, у листоватых и кустистых – изменение типичной окраски таллома, хлороз и некроз верхнего корового слоя, отмирание центральных участков талломов, распадение таллома на соредии у *Vulpicida pinastri* и представителей рода *Parmeliopsis*.

О значительном уровне загрязнения воздушной среды свидетельствует и высокая частота встречаемости эпифитного лишайника *Scoliciosporum chlorococcum*, предпочитающего антропогенные местообитания [7]. По встречаемости на ПП он занимает второе место после обычного и массового в таежной зоне эпифитна *Hypogymnia physodes*.

Антропогенная нагрузка на природные ландшафты особо охраняемого резервата «Сосновый бор острова Ягры» возрастает с каждым годом вследствие увеличения числа отдыхающих из Северодвинска, Архангельска, жителей ближайших населенных пунктов и туристов, посещающих Архангельскую область. Экосистеме всё сложнее поддерживать баланс и восстанавливаться.

Инвентаризация видового разнообразия природного рекреационного комплекса «Сосновый бор острова Ягры», в том числе лишайников, как наиболее чувствительных компонент среды к различному виду воздействий, может послужить отправной точкой для изменения режима хозяйственного использования и зонирования территории в сторону ужесточения, что в будущем может положительно сказаться на сохранении уникальной экосистемы в целом.

Работа выполнена в рамках Муниципального контракта №23-АДМ-127 с ИП И. А. Кузубов.

Библиографический список

1. ООПТ России. Природный рекреационный комплекс «Сосновый бор острова Ягры» [Электронный ресурс]. – URL: <http://oopt.aagi.ru/> свободный (дата обращения: 20.01.2022).
2. Гвоздецкая Е. В. Влияние экотуризма на арктические ООПТ Архангельской области // Индивидуализм и коллаборации ученых и практиков в эпоху трансформаций : сб. докладов Междунар. науч.-практ. конференции. СПб. : ЕНМЦ «Мультидисциплинарные исследования». 2021. С. 7–13.
3. Сохранение ценных природных территорий Северо-Запада России. Анализ репрезентативности сети ООПТ Архангельской, Вологодской, Ленинградской и Мурманской областей, Республики Карелии, Санкт-Петербурга / Г. Александров, К. Кобяков, А. Марковский, М. Носкова, В. Мамонтов, О. Ильина, А. Веселов, О. Турунен, А. Столповский, А. Федоров, В. Латка, О. Харченко, Г. Иванюк, Д. Смирнов, Д. Ковалёв, Е. Пилипенко, Е. Чуракова, И. Вдовин, О. Волкова, Р. Чемякин, С. Филенко, С. Эрайя, Т. Холина / под ред. К. Н. Кобяков. СПб. : ООО «Северо-Западный Печатный Двор». 2011. 508 с.
4. Santesson's Checklist of Fennoscandian Lichen-Forming and Lichenicolous Fungi / M. Westberg, R. Moberg, M. Myrdal, A. Nordin, S. Ekman. Uppsala : Uppsala University, 2021. 933 p.

5. Cris C O, Melechin A. CRIS data set. Version 1.5. L.. Occurrence dataset 2019. [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.15468/zychiy> accessed via GBIF.org on 2023-10-19 (дата обращения: 20.10.2023).

6. ИАС «ООПТ РФ» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.oopt.aari.ru/bio/24889?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru (дата обращения: 20.10.2023).

7. Seaward M. R. D. Effect of quantitative and qualitative changes in air pollution on the natural ecological and geographical performance of lichens // Effects of Atmospheric Pollution on Forest, Wetlands and Agricultural Ecosystems. Stuttgart, 1987. P. 439–450.

ЛИШАЙНИКИ КАРСТОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА НА ТЕРРИТОРИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗАКАЗНИКА «ПАРАСЬКИНЫ ОЗЕРА» (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Т. Н. Пыстина, Н. А. Семенова

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

В статье представлены сведения о таксономическом разнообразии лишайников обнажений карбонатных горных пород на территории государственного природного заказника федерального значения «Параськины озера». Впервые для Республики Коми приводится лишайник *Diarthonis spadicea*. Установлены новые местообитания редких лишайников, охраняемых на федеральном и республиканском уровнях.

Ключевые слова: разнообразие лишайников, известняки, ООПТ, «Параськины озера», редкий вид.

Водный памятник природы «Параськины озера» (18,2 га) был утвержден постановлением Совета Министров Коми АССР 26.09.1989 г. Резерват располагался на восточном склоне Тиманского кряжа, в 55 км на юго-запад от г. Ухта, в бассейне р. Ухта и ее правого притока р. Тобысь и включал три озера, которые представляют собой карстовые воронки большого размера, залитые водой [1].

В 2020 г. было принято решение о значительном расширении границ памятника природы и создании комплексного заказника «Параськины озера». В том же году специалистами Института биологии Коми НЦ УрО РАН выполнены геоботанические и флористические исследования на территории проектируемой ООПТ, на основании которых подготовлено обоснование для организации заказника. Постановлением Правительства Российской Федерации от 04.08.2021 г. № 1301 на базе памятника природы путем его реорганизации организован заказник федерального значения «Параськины озера». Его площадь возросла до 17 тыс. га. В состав резервата были включены ландшафты Среднего Тимана и восточного Притиманья.

Уникальность заказнику придает наличие на его территории карстовых форм рельефа, сформировавшихся в результате растворения карбонатных горных пород и проявляющихся в виде воронок и логов, порой образующих обширные карстовые поля. Воронки чаще всего встречаются в виде цепочек из нескольких штук, обычно округлой формы, диаметром до 20–25 м и глубиной до 20 м. По берегам р. Ухта расположены выходы известняков – скалистые обнажения и осыпи. Известняки являются ключевыми местообитаниями многих редких и реликтовых видов сосудистых растений и мохообразных. Не исключением являются и лишайники, массово заселяющие карбонатные породы.

Инвентаризацию видового разнообразия лишайников, произрастающих на территории заказника «Параськины озера», проводили в 2020 и 2022 гг. детально-маршрутным методом с целью наиболее полного выявления таксономического состава и обследования всех типов растительных сообществ. Особое внимание уделялось обследованию бортов карстовых воронок, склонов логов и обнажений карбонатов вдоль берегов р. Ухта. Для формирования общего списка видов привлечены также сборы, выполненные Л. В. Тетерюк в 2020 г. на правом берегу р. Ухта при изучении ценопопуляций редких видов сосудистых растений, произрастающих на обнажениях известняков.

Локалитеты редких видов зафиксированы с помощью GPS. Материалы обрабатывали по общепринятой в лихенологии методике в отделе флоры и растительности Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Образцы лишайников хранятся в УНУ «Научный гербарий Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO)». Названия видов, упоминающихся в статье, даны согласно сводке [2]. Таксономическая принадлежность к семействам выверена по электронному ресурсу www.indexfungorum.org (дата обращения 29.09.2023). Все таксоны приводятся впервые для района исследования.

На сегодняшний день на территории федерального заказника «Параськины озера» выявлено 257 видов лишайников и ассоциированных с ними грибов (260, включая таксоны рангом ниже вида), относящихся к 83 родам и 38 семействам. Из них на обнажениях карбонатных горных пород установлены местообитания 144 видов и внутривидовых таксонов из 55 родов и 28 семейств, что составляет свыше половины зарегистрированных в заказнике видов. На известняках найдены новые и редкие для Республики Коми виды. Особую ценность представляют находки таких лишайников как *Diarthonis spadicea*, который приводится впервые для Республики Коми, и *Peltigera latiloba* - это второе местонахождение вида в регионе.

На бортах карстовых воронок и логов обнаружено 130 видов. Их пологие склоны почти всегда облесены, поэтому основу видового богатства формируют лишайники-эпифиты (68 видов, или 52% всех видов). Обилие света и влажный микроклимат в разреженном древостое способствуют произрастанию многих требовательных к условиям окружающей среды лишайников, например, *Bryoria implexa*, *Cheiromycina flabelliformis*, *Evernia divaricata*, *Hypogymnia vittata*, *Leptogium saturninum*, *Lobaria pulmonaria*, *L. scrobiculata*,

Nephroma bellum, *N. parile*, *N. resupinatum*, *Ramalina roesleri*, *Rostania occultata* и др. На дне карстовой воронки на коре одиночной ели найден новый для республики вид *Diarthonis spadicea*.

На склонах довольно много свежего и старого валежа, высоких пней-обломышей – на всех этих субстратах эпифитные лишайниковые группировки по мере разложения древесины постепенно сменяются эпиксильными. Среди эпиксиллов наиболее многочисленны представители родов *Calicium*, *Chaenotheca*, *Chaenothecopsis*, *Cladonia* и *Micarea*. Общее число представителей данной эколого-субстратной группы – 26 видов.

На крутых склонах воронок и логов образуются осыпи. В их зарастании на начальных стадиях активно участвуют эпигейные лишайники из родов *Cladonia* (*C. arbuscula*, *C. chlorophaea*, *C. cornuta*, *C. crispata*, *C. gracilis* ssp. *turbinata*, *C. ochrochlora*, *C. phyllophora* и др.) и *Peltigera* (*P. didactyla*, *P. lepidophora*, *P. venosa*); отмечены также *Cetraria ericetorum*, *Stereocaulon alpinum*, *Trapeliopsis granulosa*.

На задернованных участках склонов среди развитого мохового покрова обращает на себя внимание разнообразие и обилие представителей рода *Peltigera* – отмечено 12 видов, наиболее массовые среди которых *P. aphthosa*, *P. canina*, *P. leucophlebia*, *P. malacea*, *P. neopolydactyla*. Для *P. latiloba*, найденной в разреженном сосняке кустарничково-лишайниково-зеленомошном на северном склоне воронки, это второе местонахождение в республике. Ранее она была известна с Приполярного Урала (национальный парк «Югыд ва», бассейн р. Лимбекою) [3]. На склонах северной экспозиции в дерновинках влажных мхов встречаются арктоальпийские виды *Nephroma arcticum*, *Cetraria laevigata*, *Cladonia amaurocraea*, *C. ectocyna*, *Peltigera scabrosa*. Для них в заказнике проходит южная граница ареала. Постоянными компонентами напочвенного покрова задернованных склонов воронок являются *Cetraria islandica*, *Cladonia furcata*, *C. rangiferina*, *C. stellaris*, *C. stygia*. Всего эпигейных лишайников 36 видов.

В рассматриваемых биотопах установлены местообитания семи видов, охраняемых в Республике Коми – это *Bellicidia incompta*, *Bryoria fremontii*, *Cetraria laevigata*, *Cheiromycina flabelliformis*, *Hypogymnia austerodes*, *Microcalicium ahlneri*, *Ramalina roesleri* [4] и одного охраняемого на федеральном уровне: *Lobaria pulmonaria* [5]. Шесть видов относятся к категории статуса редкости 3 (редкий), два вида – к категории 2 (сокращающиеся в численности). Несколько раз в заказнике были встречены лишь *Bryoria fremontii*, *Hypogymnia austerodes* и *Lobaria pulmonaria*, для остальных видов известны единичные находки. Нуждаются в бионадзоре еще шесть редких видов – *Hypogymnia bitteri*, *H. vittata*, *Lobaria scrobiculata*, *Peltigera venosa*, *Ramalina thrausta*, *Rostania occultata*.

С позиции видового разнообразия лишайников несомненный интерес представляют облесенные скалистые обнажения известняков, расположенные по берегам р. Ухта. К сожалению, данные местообитания на сегодняшний день мало обследованы ввиду их трудной доступности. В настоящее время

известно произрастание здесь 33 видов, среди которых только на береговых скалах в заказнике встречаются *Cladonia stricta*, *C. pocillum*, *Peltigera extenuata*, *P. rufescens*, *Solorina saccata*. В списке преобладают лишайники, формирующие напочвенный покров (27 видов), эпиксильных видов зарегистрировано пять, эпифит один (*Scytinium teretiusculum*). Из числа охраняемых найден эпигейный лишайник *Peltigera kristinssonii*, в своем распространении в республике тяготеющий к карбонатным почвам [4].

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН №122040600026-9.

Библиографический список

1. Патова Е. Н. Водный памятник природы «Параськины озера» // Буклет «Особо охраняемые природные территории Республики Коми: Ухтинский район». Сыктывкар, 2010. С. 26–27.
2. Santesson's Checklist of Fennoscandian Lichen-Forming and Lichenicolous Fungi / M. Westberg, R. Moberg, M. Myrdal, A. Nordin, S. Ekman. Uppsala: Uppsala University. 2021. 933 p.
3. Флоры, лишено- и микобиоты особо охраняемых ландшафтов бассейнов рек Косью и Большая Сыня (Приполярный Урал, национальный парк «Югыд ва»). М. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 483 с.
4. Красная книга Республики Коми. Сыктывкар, 2019. 768 с.
5. Приказ министерства природных ресурсов и экологии РФ от 23.05.23 № 320 «Об утверждении Перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации».

ФЛОРА КОПАНЫХ ВОДОЕМОВ ЮГА РЕСПУБЛИКИ КОМИ

А. А. Панюков, Б. Ю. Тетерюк

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

В статье представлены результаты изучения флоры копанных водоёмов в окрестностях садовых товариществ г. Сыктывкара. Во флоре 28 изученных водоёмов отмечено 185 видов высших сосудистых растений, которые относятся к 48 семействам и 108 родам. Флора копанных водоёмов имеет отличия от флоры естественных водоёмов в спектре ведущих семейств, родов и в экологической структуре.

Ключевые слова: флора водоёма, антропогенный водоём, копани.

Копаные водоёмы – один из широко распространённых типов водных объектов. Они имеют различное назначение: пожарное, рыбохозяйственное и т.д. Изучению флоры таких водоёмов посвящён ряд работ [1, 2] и др. На территории Европейского Северо-Востока России данный объект слабо изучен, как и в целом антропогенные водоёмы.

Целью работы было выявление особенностей состава и структуры флоры копаных водоёмов юга Республики Коми.

Флору копаных водоёмов исследовали в июле 2022 года в окр. г. Сыктывкар. Всего было обследовано 28 таких водных объектов. Данные водоёмы расположены на северо-востоке Европейской части России в Республике Коми (Сыктывдинский район), в подзоне средней тайги.

Материал собирали путём обхода водоёмов по берегу и по мере необходимости объезжали на лодке. Проанализированный состав видов документирован гербарными сборами, хранящимися в УНУ «Научный гербарий Института биологии Коми НЦ УрО РАН» (SYKO).

При обработке флористического материала использовали интегрированную ботаническую информационную систему IBIS 7.2 [3].

В исследованных водоёмах выявлено 185 видов высших растений, включая 12 видов мохообразных, относящихся к 48 семействам и 108 родам. Флоры отдельно взятых водоёмов объединяют от 9 до 46 видов.

Во флоре копаных водоёмов ведущие позиции по числу видов занимают семейства Asteraceae – 21 вид (11,4%), Poaceae – 20 видов (10,8%), Rosaceae – 12 видов (6,5%); типичные для флоры водоёмов региона семейства Cyperaceae и Salicaceae (по 10 видов в каждом) делят лишь 4–5 место, хотя в естественных водоёмах региона данные семейства занимают лидирующие позиции (табл.) [4]. На долю гидроспециализированных семейств [4] приходится лишь 18,6% от общего количества семейств. Представители данных семейств (*Lemna minor* L., *Menyanthes trifoliata* L., *Alisma plantago-aquatica* L. и др.) составляют лишь 8,7% от общего числа видов флоры копаных водоёмов.

Таблица

Структура ведущих по числу видов семейств флоры изученных водоёмов

Название семейства	Число видов, шт.	Доля, %
Asteraceae	21	11,4
Poaceae	20	10,8
Rosaceae	12	6,5
Cyperaceae	10	5,4
Salicaceae	10	5,4
Apiaceae	7	3,8
Caryophyllaceae	7	3,8
Fabaceae	7	3,8
Juncaceae	7	3,8
Ranunculaceae	7	3,8

Среди родов по количеству видов лидируют *Carex* – 9 видов (4,9%), *Salix* – 8 видов (4,3%) и *Ranunculus* – 6 видов (3,2%); далее – с меньшим количеством видов – идут роды *Cirsium* и *Equisetum* – по 5 видов; четырьмя видами представлены три рода, остальные роды включают 1–3 вида. На долю одновидовых родов приходится 63,9% от видового состава флоры копаных водоёмов. Высокая доля одновидовых родов является характерной особенностью антропогенных водоёмов и указывает на миграционный характер фло-

ры, а также указывает на небольшое разнообразие экотопов [5]. В числе лидирующих родов присутствует *Cirsium*, представители которого являются сорными и приурочены в основном к антропогенным местообитаниям.

Во флоре копаных водоёмов наиболее часто встречаются *Lemna minor* (40,6%), *Alisma plantago-aquatica* (28,7%), *Ranunculus repens* L. (26,7%), *Tussilago farfara* L. (23,8%), *Equisetum fluviatile* L. (20,8%). Также не единичны случаи обнаружения некоторых антропохорных видов – *Typha latifolia* L. (10%), *Lupinus polyphyllus* Lindl. (7,9%), *Bidens radiata* Thuill. (5%). Однако, коэффициент участия всех видов относится к V классу, исключением является *Lemna minor* (II класс).

В составе изученной флоры отмечен *Potamogeton trichoides* Cham. & Schtdl. (статус охраны 4), занесённый в Красную книгу Республики Коми [6].

В экологической структуре копаных водоёмов по фактору увлажнения лидируют мезофиты (29,7%) и гигромезофиты (25,4%). Виды водного ядра (гидрофиты, гелофиты и гигрогелофиты) объединяют в себе только 21,6% от общего числа видов копаных водоёмов. Это связано с небольшим разнообразием «водных» экотопов, что в свою очередь обусловлено конструктивными особенностями копаных водоёмов (обрывистые берега). В целом, на нарушенных территориях таёжной зоны Республики Коми преобладают мезофиты [14], на их долю приходится около 80% от общего числа видов. В нашем случае блок «береговых» видов объединяет 75,6% от общего числа видов. В составе флоры присутствуют и ксеромезофиты (3,8%) – *Achillea millefolium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Tanacetum vulgare* L. и др. Вероятно, это связано как с механическим составом грунта (песок), так и с постоянной антропогенной нагрузкой (вытаптывание).

В географической структуре флоры копаных водоёмов юга Республики Коми преобладают виды евразийской долготной группы 42,2%, следом идут виды голарктической долготной группы 34,6%. Виды космополитной и европейской групп менее представлены: на их долю приходится 17,3% и 5,9% соответственно. Это в целом сопоставимо с естественной флорой. В широтном отношении лидируют виды, широко распространённые в бореальной зоне. Многие из них (37,3%) отмечены в арктической зоне: *Salix phylicifolia* L., *Tussilago farfara* L., *Ranunculus reptans* L. и др. В составе флоры выявлены (31,89%) виды южного тяготения: *Typha latifolia*, *Solanum dulcamara* L., *Ranunculus sceleratus* L. и др.

Библиографический список

1. Гарин Э. В. Флора и растительность копаней Ярославской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05. Саранск, 2004. 24 с.
2. Закурдаева М. В. Гидрофильная флора и растительность малых техногенных водоёмов города // Известия Саратовского университета. Сер. Химия, Биология. Экология. 2012. Т. 12. Вып. 3. С. 64.
3. Зверев А. А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск : ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.

4. Тетерюк Б. Ю. Флора и растительность древних озёр европейского Северо-Востока России. СПб. : Наука, 2012. 237 с.

5. Шмидт В. М. Флора Архангельской области. СПб. : Изд-во С.-Петер. ун-та, 2005. 346 с.

6. Красная книга Республики Коми / под ред. С. В. Дёгтевой. Сыктывкар : Коми республиканская типография, 2019. 768 с.

ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕСТООБИТАНИЙ *ADONIS VOLGENSIS* В ЛЕСОСТЕПНОМ САМАРСКОМ ЗАВОЛЖЬЕ

А. А. Богданова, Л. Н. Коннова, Я. А. Ульянова

*Самарский государственный социально-педагогический университет,
eresko.anastasiya@sgspsu.ru, konnova.lidiya@sgspsu.ru, uyanova.yana@sgspsu.ru*

В статье представлены результаты изучения особенностей фитоценозов в местах произрастания *Adonis volgensis* DC. (*Chrysocyathus volgensis* (DC.) Holub) в лесостепной части Самарской области. Проведено 120 описаний. Установлено совместное произрастание 158 видов сосудистых растений в 12 основных типах растительных сообществ, в которых встречается адонис волжский.

Ключевые слова: популяция, адонис волжский, растительное сообщество, видовой состав, флора.

Изучение популяций редких видов растений обычно сопровождается полным описанием фитоценоза и особенностей условий местообитаний. В связи с актуальностью данного направления исследований различными авторами проводятся комплексные мероприятия по обследованию природно-территориальных комплексов с использованием различных методов изучения и оценки растительного покрова (флористические, фитоценотические, популяционные) [1–3].

В Самарской области изучению популяций редких видов растений посвящено большое количество работ, однако не во всех публикациях имеются сведения о фитоценотической приуроченности тех или иных представителей. Для полного изучения популяций такая характеристика местообитаний необходима, актуальна для получения современных данных о растительном покрове и возможности дальнейшего ретроспективного анализа, для проведения сравнительных работ по регионам.

Нами проведены исследования популяций *Adonis volgensis* DC. на территории нескольких урочищ, в том числе памятников природы регионального значения Самарской области. Среди пунктов, где проведено описание растительных сообществ с участием адониса волжского, следует указать следующие: Елховский район – гора Зеленая; Исаклинский – Сосновый останец естественного происхождения, Исаклинская нагорная лесостепь, окрестности оз. Молочка; Кинельский – Чубовская степь, Каменный дол; Кинель-

Черкасский – Западный Малокинельский байрачно-степной комплекс; Красноярский – Царев курган, Хилковский овраг; Клявлинский – склоны р. Байтермишка; Похвистневский – гора Копейка, Похвистневские пригородные дубравы; Сергиевский – Серноводский шихан, окр. с. Ендурайкино, Ендурайкинское плато, гора Высокая, склоны р. Черновка, окр. с. Антоновка, Успенская шишка, Красносельские вершины, склоны р. Липовка. За период 2022–2023 гг. проведено описание 120 учетных площадок.

Адонис волжский включен в Красную книгу Самарской области [4]. Изучению его популяций в Самарской области посвящен ряд работ [5, 6]. Предварительно нами проанализированы публикации о встречаемости адониса в Самарской области [4, 6–10].

Адонис волжский (рис.) в Самарском лесостепном Заволжье зарегистрирован в 12 типах растительных сообществ: тырсово-земляничном (23% описаний), землянично-солонечниково-ковылково-полынковом (16%), ковылково-полынковом (13), типчаково-полынковом (10%), кострцово-наголоватковом (8%), перисто-ковыльно-солонечниковом (5%), ковылково-богаторазнотравном (7%), ковылково-копеечниковом (5%), овсяницево-бобово-разнотравном (4%), кострцово-разнотравном (4%), мятликово-земляничном (3%), тырсово-полынковом (2%).



Рис. Адонис волжский в Самарской области (фото В. Н. Ильиной)

На 120 изученных площадках в ценозах с участием адониса волжского совокупно произрастает 158 видов сосудистых растений. Константными видами являются тырса, солонечник узколистный, астра альпийская, шалфей остепненный, земляника зеленая.

Сформированность сообществ оценивается как достаточно высокая, они имеют средний или в некоторых случаях богатый видовой состав, отличаются значительной устойчивостью. Следует отметить, что увеличение рекреационной, пастбищной и пирогенной нагрузок приводит к упрощению структуры фитоценозов, снижению видового разнообразия, уменьшению численности изучаемого вида. Однако отчуждение территорий и увеличение плотности дорожной сети наиболее губительно для фитоценозов с участием адониса волжского.

Выражаем благодарность за консультации и методическую помощь в ходе выполнения исследований нашему научному руководителю, доценту СГСПУ В. Н. Ильиной.

Библиографический список

1. Ильина В. Н. Демографическая характеристика ценопопуляций *Hypericum perforatum* L. в условиях антропогенной нагрузки на степные фитоценозы (Самарская область) // От растения до лекарственного препарата : сб. науч. трудов Междунар. науч. конф. М. : ФГБНУ ВИЛАР, 2020. С. 45–49.
2. Ильина В. Н., Дорогова Ю. А. К вопросу об экологических условиях местообитаний копеечника Гмелина (*Hedysarum gmelinii* Ledeb.) // Структурно-функциональная организация и динамика растительного покрова : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения д. б. н., проф. В. Е. Тимофеева (1–3 февраля 2012 г., Самара). Самара : ПГСГА, 2012. С. 121–124.
3. Невский С. А., Давиденко О. Н. Функциональная устойчивость растительных сообществ саратовского левобережья с участием охраняемых видов растений // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2014. № 4. С. 90–95.
4. Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений и грибов / под ред. С. А. Сенатора и С. В. Саксонова. Самара, 2017. 384 с.
5. Ильина В. Н. Жизненность ценопопуляций адониса волжского в Заволжье // Экологические проблемы бассейнов крупных рек : Тезисы докладов междунар. конф. / Отв. ред. Г. С. Розенберг и С. В. Саксонов. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2008. С. 65.
6. Ильина В. Н., Саксонов С. В. Некоторые итоги изучения ценопопуляций адонисов весеннего и волжского (*Adonis vernalis* L. и *A. wolgensis* Stev.) в бассейне Средней Волги // Бюлл. Главного ботанического сада. 2010. Вып. 196. С. 107–116.
7. Ильина В. Н., Ильина Н. С. Флора памятника природы Самарского Высокого Заволжья «Гора Высокая» // Степи Северной Евразии : материалы V Междунар. симпозиума. Оренбург : ООО «Оренбурггазпромсервис», 2009. С. 337–338.
8. Митрошенкова А. Е. Ендурайкинское плато как эталонный участок ландшафтного и биологического разнообразия лесостепного Высокого Заволжья // Заповедное дело: проблемы охраны и экологической реставрации степных экосистем : материалы Междунар. конф., посвященной 15-летию гос. заповедника «Оренбургский». Оренбург, 2004. С. 132–133.
9. Моисеева Ю. С., Ильина В. Н. Флора памятника природы «Иса克林ская нагорная лесостепь» и прилегающих территорий (Иса克林ский район Самарской области) // Экологический сборник 2 : Труды молодых ученых Поволжья / под ред. проф. С. В. Саксонова. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2009. С. 109–113.
10. Флора озера Молочка и его ближайших окрестностей в Самарской области (Высокое Заволжье, Сокский флористический район) / С. В. Саксонов, А. В. Иванова, В. Н. Ильина, Н. С. Раков, Т. Б. Силаева, В. В. Соловьева // Фиторазнообразии Восточной Европы. 2007. № 2. С. 77–98.

ФИТОЦЕНОТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕСТООБИТАНИЙ *OXYTROPIS FLORIBUNDA* В ЛЕСОСТЕПНОМ САМАРСКОМ ЗАВОЛЖЬЕ

Л. Н. Коннова, К. Ю. Атанова, Н. А. Аветисян
Самарский государственный социально-педагогический университет,
konnova.lidiya@sgspsu.ru, atanova.kseniya@sgspsu.ru,
avetisyan.n@sgspsu.ru

В статье представлены результаты изучения особенностей фитоценозов в местах произрастания *Oxytropis floribunda* (Pall.) DC. в лесостепной части Самарской области. Проведено 130 описаний. Установлено совместное произрастание 158 видов сосудистых растений в 15 основных вариантах растительных сообществ, в которых встречается остролодочник яркоцветный.

Ключевые слова: популяция, остролодочник яркоцветный, растительное сообщество, видовой состав, флора.

Изучение редких видов растений неразрывно связано с выполнением популяционных исследований, однако описание параметров мест их обитания должно дополнять подобные работы с целью получения всесторонних сведений о представителях флоры, их устойчивости в растительных сообществах, особенностях реакции на влияние разнообразных факторов среды [1–3].

В Самарском государственном социально-педагогическом университете проводятся длительные многоаспектные исследования различных видов; особое внимание уделяется представителям петрофитных степей, считающихся наиболее редкими и уязвимыми в регионе.

Нами проведены исследования популяций *Oxytropis floribunda* (Pall.) DC. на территории нескольких урочищ, в том числе памятников природы регионального значения Самарской области. Среди пунктов, где проведено описание растительных сообществ с участием остролодочника яркоцветного, следует указать следующие: Елховский муниципальный район – гора Зеленая, Кандабулакская лесостепь; Исаклинский – окр. с. Б. Микушкино, склоны р. Черновка, Исаклинская нагорная лесостепь, гора Пионерка; Кинельский – Чубовская степь, овраг Верховой, Шиланская гора; Красноярский – гора Лысая, гора Красная, окр. с. Шилан; Похвистневский – гора Копейка; Сергиевский – Серноводский шихан, Ендурайкинское плато, гора Высокая, Успенская шишка; Шенталинский – гора Маяк. Всего в 2020–2023 годах проведено описание 130 учетных площадок с участием данного вида.

Остролодочник яркоцветный включен в Красную книгу Самарской области со статусом редкости 3 – редкий вид [4]. Результаты исследования его популяций на территории Самарской области приведены в некоторых публикациях [1, 5–7]. В составлении маршрутного листа полевых работ нами ис-

пользованы указания на пункты произрастания в литературных источниках [7–10].

Остролодочник яркоцветный (рис.) в Самарском лесостепном Заволжье зарегистрирован нами в 15 разновидностях растительных сообществ: тырсово-тимьяновом (24% описаний), солонечниково-ковыльковом (13%), ковылково-полынно-мордовниковом (11%), келериево-солонечниковом (9%), тимьяново-наголоватковом (8%), перистоковыльно-солонечниково-копеечниковом (6%), ковылково-простейшеоносомовом (6%), типчаково-крупноцветково-копеечниковом (5%), бобоворазнотравно-сумсковасильковом (4%), кострещово-разнотравном (4%), келериево-бедноразнотравном (3%), тырсово-полынно-ковом (2%), коржинскоковыльно-тимьяновом (2%), перистоковыльно-молонечниковом (2%), яркоцветноостролодочниково-ковыльном (1%). Несмотря на разнообразие растительных сообществ, следует отметить их невысокое видовое разнообразие и низкое проективное покрытие почвы травостоем. Нередко растительные сообщества развиваются на оголенных смытых карбонатных почвах с высоким содержанием красноцветных глин.



Рис. Остролодочник яркоцветный в Самарской области (фото В. Н. Ильиной)

На 130 изученных площадках в 15 вариантах ценозов с участием остролодочника яркоцветного совокупно произрастает 77 видов сосудистых растений. Константными видами являются тимьяны (разные виды), солонечник мохнатый, астра альпийская, василек сумский, мордовник шароголовый, наголоватка Ледебура.

Увеличение рекреационной, пасквальной и пирогенной нагрузок на петрофитные варианты степей приводит к усилению эрозионных процессов на

склонах, к дальнейшему упрощению структуры фитоценозов, снижению видового разнообразия, уменьшению численности изучаемого остролодочника.

Выражаем благодарность за консультации и методическую помощь в ходе выполнения исследований нашему научному руководителю, доценту Самарского государственного социально-педагогического университета В. Н. Ильиной.

Библиографический список

1. Зенкина Т. Е., Ильина В. Н. Оценка пространственно-онтогенетической структуры ценопопуляции *Oxytropis floribunda* (Pall.) DC. в ненарушенных ценозах (на территории Самарской области) // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10. № 1. С. 74–79. doi: 10.17816/snv2021101110

2. Ильина В. Н., Дорогова Ю. А. К вопросу об экологических условиях местообитаний копеечника Гмелина (*Hedysarum gmelinii* Ledeb.) // Структурно-функциональная организация и динамика растительного покрова : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения д. б. н., проф. В. Е. Тимофеева (1–3 февраля 2012 г., Самара). Самара : ПГСГА, 2012. С. 121–124.

3. Невский С. А., Давиденко О. Н. Функциональная устойчивость растительных сообществ саратовского левобережья с участием охраняемых видов растений // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2014. № 4. С. 90–95.

4. Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений и грибов / под ред. С. А. Сенатора и С. В. Саксонова. Самара, 2017. 384 с.

5. Ильина В. Н. Особенности структуры ценопопуляций *Oxytropis floribunda* (Pall.) DC. (Fabaceae) в Самарской области // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2015. Т. IX. № 1. С. 156–170.

6. Ильина В. Н. Демографические характеристики популяций остролодочника яркоцветного (*Oxytropis floribunda* (Pall.) DC., Fabaceae) в Самарской области // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2017. XI : 3. С. 120–127.

7. Ильина В. Н. Эффективность охраны *Oxytropis floribunda* (Pall.) DC. на территории памятников природы регионального значения Самарской области // Актуальные проблемы зоологии России и сопредельных территорий : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной памяти проф. В. В. Золотухина. Ульяновск : Мастер-Студия, 2022. С. 308–311.

8. Иванова А. В., Бобкина Е. М., Ильина В. Н. К флоре памятника природы «Гора Красная» Красноярского района Самарской области // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2011. Т. 20. № 3. С. 88–105.

9. Роль ценных степных экосистем Самарского Заволжья в сохранении редких степных видов / А. В. Иванова, В. М. Васюков, В. Н. Ильина, Е. М. Ёлкина // Степи Северной Евразии : материалы V Междунар. симпозиума. Оренбург : ООО «Оренбурггазпромсервис», 2009. С. 327–329.

10. Природный комплекс «Серноводский шихан»: современное состояние и охрана (Сергиевский район, Самарская область) / А. Е. Митрошенкова, В. Н. Ильина, Н. С. Ильина, А. А. Устинова, Т. М. Лысенко // Структурно-функциональная организация и динамика растительного покрова : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию со дня рождения д. б. н., проф. В. Е. Тимофеева (1–3 февраля 2012 г., Самара). Самара : ПГСГА, 2012. С. 169–174.

БОНИТЕТ И ОНТОГЕНЕТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВИДОВ ДРЕВОСТОЯ АГАНИНСКОЙ ДУБРАВЫ

М. А. Конопляников, А. Е. Артамонова
Костромской государственный университет,
mikhail.konoplyanikov@mail.ru, annevart@yandex.ru

В статье представлены результаты оценки состояния древостоя Аганинской дубравы. Определены классы бонитета, онтогенетические состояния доминантных и субдоминантных видов. Потенциальная продуктивность фитоценоза находится на высоком уровне. Возобновление ценозообразующего вида протекает активно.

Ключевые слова: Аганинская дубрава, таксация леса, бонитет леса, онтогенетическое состояние, фитоценоз, экологический мониторинг.

В настоящее время из-за увеличивающегося антропогенного влияния на различные фитоценозы возрастает роль их охраны и восстановления. В связи с этим появляется необходимость регулярного экологического мониторинга. Примером его является изучение динамики состояния фитоценозов.

Целью работы является определение экологического состояния фитоценоза Аганинской дубравы – реликтовой дубовой рощи, имеющей категорию памятника природы. На территории дубравы произрастают редкие и охраняемые растения, что обуславливает ее экологическую ценность.

Исследования проводили в июне–июле 2023 г. Для оценки заложены геоботанические площадки на двух флористически сходных участках. Растительность на площадках описывали по общепринятым методикам [1].

Участок 1 представлен дубняком липово-разнотравным. Обнаружено 28 видов растений. Доминирующий вид – дуб черешчатый (*Quercus robur* L.); вид-ассектатор – липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.); вид, преобладающий в подлеске, – рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.); виды, преобладающие в травянистом ярусе, – сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria* L.), ландыш майский (*Convallaria majalis* L.).

Участок 2 представлен дубняком осиновым. Обнаружено 23 вида. Доминирующий вид – *Quercus robur*; вид-ассектатор – осина, или тополь дрожащий (*Populus tremula* L.); вид, преобладающий в подлеске, – черемуха обыкновенная (*Rubus avium* Mill); виды, преобладающие в травянистом ярусе, – *Convallaria majalis*, подмаренник северный (*Galium boreale* L.).

Для оценки потенциальной продуктивности древостоя проведена бонитировка по шкале М. М. Орлова [2]. Результаты представлены на рисунке 1.

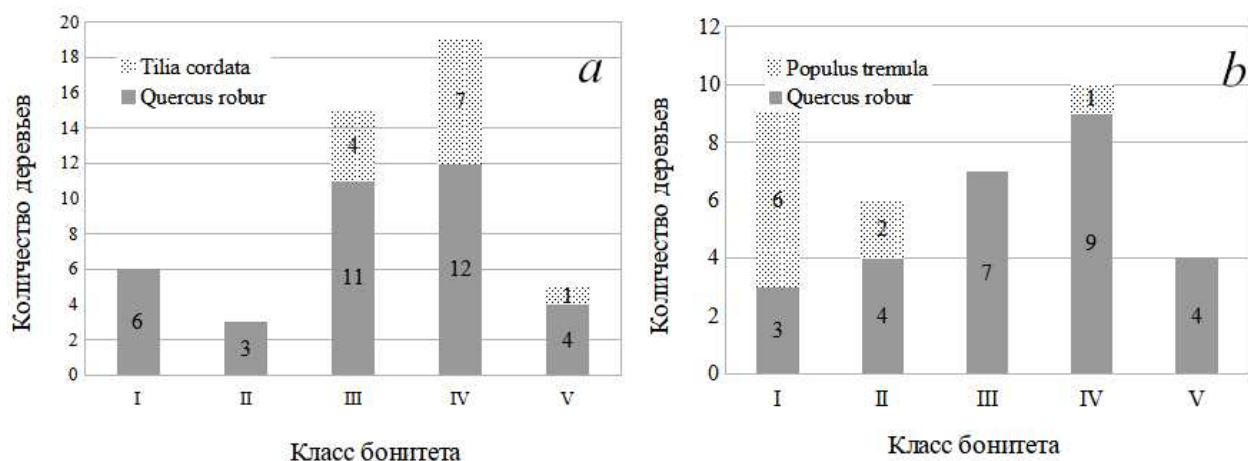


Рис. 1. Распределение деревьев по классам бонитета в дубняке липово-разнотравном (a) и дубняке осиновом (b)

В дубняке липово-разнотравном представлены древостойобразующие породы всех классов бонитета. Преобладающими на данном участке являются классы III и IV, следовательно – это среднебонитетное насаждение (рис. 1, a).

Дубняк осиновый характеризуется большим количеством высокобонитетных (I и II класс) растений (рис. 1, b). Это обуславливает более высокую среднюю продуктивность по сравнению с дубняком липово-разнотравным. Следовательно, дубняк осиновый можно назвать относительно высокобонитетным ценозом.

Состояние древостоя и возрастная структура сообщества дают возможность оценить экологическую обстановку, которая складывается на изучаемой территории [3]. Присутствие в биотопе неполночленных популяций с преобладанием старых или, наоборот, молодых особей может говорить о неустойчивости сообщества. Подобное явление возникает при неблагоприятном воздействии различных факторов, в первую очередь – антропогенных. Результаты анализа соотношения онтогенетических групп в фитоценозе представлены на рисунке 2.

Из графиков на рисунке 2 видно, что популяция дуба на обоих участках полночленная с левосторонним возрастным спектром и преобладанием стадий v , g_2 . Это свидетельствует о нормальном развитии и функционировании популяции дуба, а также о ее регулярном возобновлении.

В случае осины и липы сердцевидной мы наблюдаем обратную картину: график правосторонний, популяции неполночленные с преобладанием g_2 , ss , s растений и полным отсутствием p , j и v онтогенетических состояний. Как правило, возобновление в таких популяциях не происходит вследствие отсутствия проростков и молодых особей [4]. Для осины характерным является не семенное, а вегетативное возобновление, что объясняет отсутствие ранних стадий, так как под густым пологом из-за недостатка света отмирает большинство образующихся отпрысков [5]. У липы отсутствие молодых особей может быть связано с излишней затененностью, создаваемой кронами дубов.

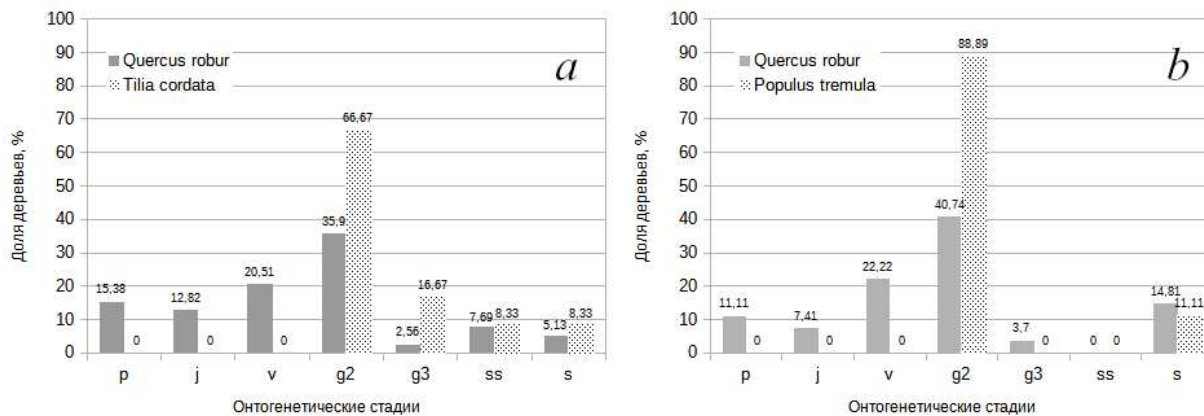


Рис. 2. Соотношение онтогенетических групп деревьев в дубняке липово-разнотравном (a) и в дубняке осиновом (b)

Для оценки экологических параметров фитоценоза данные, полученные в ходе исследования участков дубравы, обрабатывали с помощью компьютерной программы EcoScaleWin [6]. Характеристика биотопов по амплитудной (Д. Н. Цыганов) и оптимумным (Э. Ландольт, Г. Элленберг) шкалам представлена на рисунках 3–5.

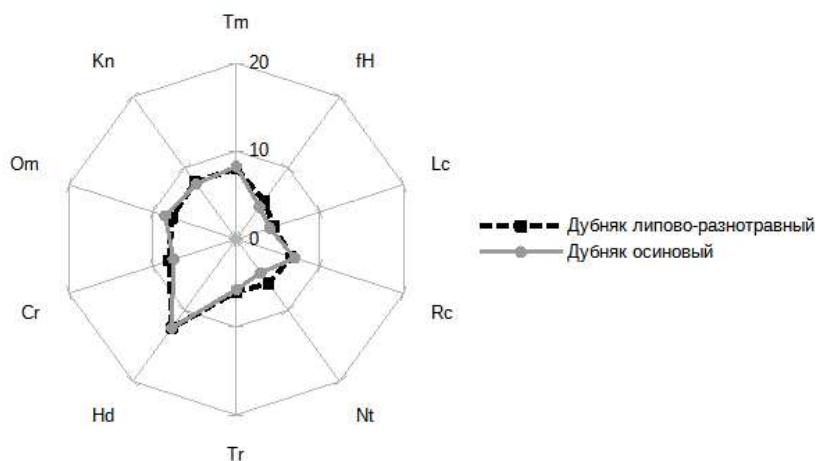


Рис. 3. Оценка условий дубняка липово-разнотравного и дубняка осинового по шкале Д. Н. Цыганова

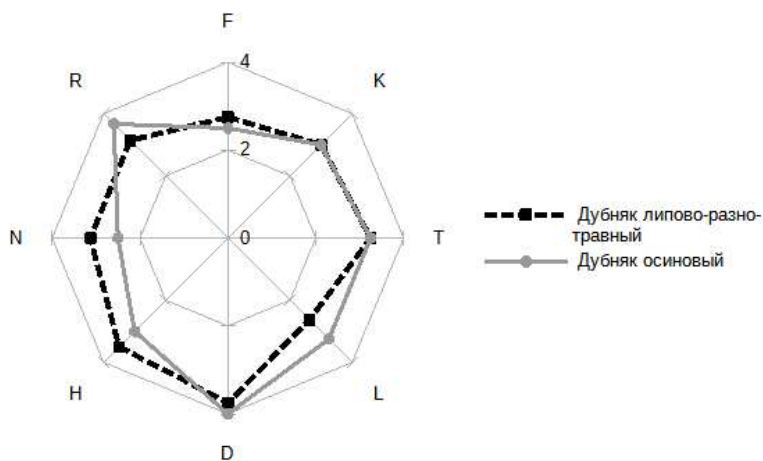


Рис. 4. Оценка условий дубняка липово-разнотравного и дубняка осинового по шкале Э. Ландольта

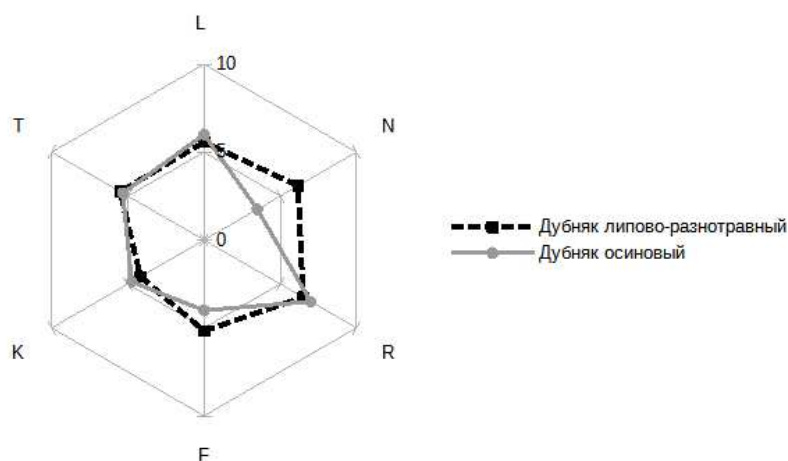


Рис. 5. Оценка условий дубняка липово-разнотравного и дубняка осинового по шкале Г. Элленберга

По шкале континентальности климата ($K_n = 8,00$) и термоклиматической шкале ($T_m = 8,00$) Д. Н. Цыганова дубняк липово-разнотравный расположен в умеренном климате со средними перепадами температур и влажности (рис. 3–5). Количество выпавших осадков и испарившейся влаги по омброклиматической шкале ($O_m = 7,75$) находится в балансе, по криоклиматической шкале ($C_r = 8,00$) – зимы умеренные. Почвы по шкалам богатства азотом ($N_t = 6,25$), солевого режима ($T_r = 6,00$), кислотности ($R_c = 6,63$) и переменности увлажнения ($fH = 5,40$) довольно богаты солями и азотом, имеют кислую реакцию, увлажняются умеренно переменным. По шкалам гранулометрического состава ($D = 3,75$) и гумусированности ($H = 3,50$) Э. Ландольта, почвы дубняка липово-разнотравного тонкопесчаные, пылеватые, богатые гумусом.

Дубняк осиновый по шкалам континентальности климата ($K_n = 7,75$) и термоклиматической ($T_m = 8,25$) Д. Н. Цыганова также находится в условиях умеренного климата со средними перепадами температур и влажности. По омброклиматической шкале ($O_m = 8,50$) количество выпавших осадков к количеству испарившейся влаги находится в балансе, по криоклиматической шкале ($C_r = 7,50$) – зимы умеренные. По шкалам богатства азотом ($N_t = 4,75$), солевого режима ($T_r = 5,75$), кислотности ($R_c = 7,00$) и переменности увлажнения ($fH = 4,50$) почвы богаты солями, но содержат меньше азота, имеют слабокислую реакцию и увлажняются слабопеременным. По шкалам гранулометрического состава ($D = 4,00$) и гумусированности ($H = 3,00$) Э. Ландольта, почвы данного участка тоже тонкопесчаные, пылеватые, однако содержание гумуса в них ниже.

Таким образом, оба участка характеризуются сходными эдафическими и климатическими параметрами и имеют оптимальные условия для функционирования фитоценоза.

По результатам исследования экологическое состояние Аганинской дубравы можно оценить, как хорошее. Фитоценоз обладает высокой продуктивностью, возобновление ценозообразующего вида протекает активно. Од-

нако возобновление видов-субдоминантов на изученных участках нарушено вследствие воздействия естественных лимитирующих факторов.

Библиографический список

1. Учебная полевая практика по геоботанике : учебно-методическое пособие / под ред. Г. А. Сорокиной, Н. В. Пахарьковой, Т. Л. Шашковой, М. А. Субботина. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. 30 с.
2. Лесная таксация : учебное пособие / В. С. Моисеев, И. А. Нахабцев, Л. Н. Яновский, А. Г. Мошкалев. Ленингр. лесотехн. акад. имени С. М. Кирова. Л. : ЛТА, 1987. 81 с.
3. Онтогенез и возрастной состав популяций цветковых растений / под ред. А. А. Уранова. М. : Наука, 1967. 156 с.
4. Evstigneev O. I., Korotkov V. N. Ontogenic stages of trees : an overview // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2016. Vol. 1 (2). P. 1–31. doi: 10.21685/2500-0578-2016-2-1
5. Смилга Я. Я. Осина. Науч.-произв. об-ние «Силава», Латв. НИИ лесохоз. пробл. Рига : Зинатне, 1986. 234 с.
6. Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с по-мощью программы EcoScaleWin : учебное пособие / Е. В. Зубкова, Л. Г. Ханина, Т. И. Грохлина, Ю. А. Дорогова. Мар. гос. ун-т, Пушкинский гос. ун-т. Йошкар Ола, 2008. 96 с.

КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДРЕВЕСНОГО ОПАДА ОТДЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫРУБКИ СРЕДНЕТАЕЖНОГО ЕЛЬНИКА

М. А. Кузнецов

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

В статье представлены качественные характеристики наземного древесного опада вырубки ельника на автоморфной почве в подзоне средней тайги Республики Коми. Фракционный состав древесного опада зависит от лесовосстановления технологических элементов вырубки. В зимне-весеннем древесном опаде преобладают фракции ели. В летне-осеннем доминируют листья подроста и подлеска. На пасечном участке значительная часть древесного годового опада приходится на фракции березы, на волочных участках – ивы.

Ключевые слова: древесный опад, вырубка ельника, пасечные и волочные элементы вырубки.

Растительный опад в лесных фитоценозах играет важную роль в процессах почвообразования, круговорота углерода и зольных элементов. В зависимости от состава растительных остатков и условий разложения по-разному протекает процесс обогащения почв органическими и минеральными веществами [1]. На территории Республики Коми преобладают еловые экосистемы. Преимущественно это спелые и перестойные ельники, которые являются основным объектом промышленных лесозаготовок. Фактическая заго-

товка древесины за период 2011–2022 гг. составила 7,2–9,9 млн м³ в год, 70% из которых составляет ель [2]. При сплошнолесосечной рубке леса в процессе воздействия лесозаготовительной техники на почву и растительный покров на лесосеках образуются и пространственно обособляются характерные экотопы, которые различаются ходом лесовозобновительного процесса в них. Пасечные участки характеризуются небольшим воздействием лесозаготовительной техники на почву, сохранением эдафоценотических признаков материнского насаждения и наличием лесной подстилки, препятствующей распространению как растений-задернителей, так и прорастанию семян древесных растений. На трелевочных волоках наблюдается довольно сильное техногенное воздействие: вырублены древесные растения, нарушены растительный покров, структура подстилки и верхних горизонтов почвы.

Цель данной работы – качественная оценка состава наземного древесного опада на вырубке среднетаежного ельника в зависимости от технологического элемента участка вырубki (пасека, волок).

Объект исследования – 5–6-летняя вырубка среднетаежного ельника на автоморфной почве. На объекте исследования заложена постоянная пробная площадь размером 0,24 га, на которой трелевочные волока шириной 3,3–3,6 м чередуются с пасеками шириной 13–15 м. Учет деревьев самосева, подроста и подлеска проводили по выборочно-статистическому методу предложенным А. В. Грязькиным [3]. Методика учета заключалась в закладке 50 круговых учетных площадок (УП) размером 10 м², равномерно размещенных по площади вырубki. На каждой УП проводили сплошной пересчет, определяли видовой состав, жизненное состояние самосева, подроста и подлеска. Количество опада растений древесного яруса определяли с помощью опадоулавливателей размером 0,5 × 0,5 м [4] в 10-кратной повторности на каждом технологическом элементе (пасека и волок). Сбор древесного опада проводили два раза в год: в мае (зимне-весенний опад) и в октябре после массового листопада (летне-осенний опад).

Выявлено, что на пасечных участках вырубki ельника черничного на подзолистых почвах общее количество самосева и подроста составляет $65,1 \pm 6,6$ тыс. экз. га⁻¹. В подросте преобладает береза – 95,4%, встречаются ель – 3,0, ива – 1,0, рябина – 0,4 и сосна – 0,2%. На волоках вырубki присутствуют самосев и подрост березы, ели и ивы в количестве $9,7 \pm 0,6$ тыс. экз. га⁻¹. Доминирует береза (91,8% от общего количества), на ель приходится 0,5%, доля ивы составляет 7,7%. Сосна и рябина встречаются только на пасечных участках. На вырубке также представлен подлесок кустарниковой формы. Особи шиповника (3,6 тыс. экз. га⁻¹) и жимолости (110 экз. га⁻¹) встречаются как на пасечных, так и на волочных участках [5].

В зимне-весеннем опаде как на пасечных (51,3%), так и на волочных (33,5%) участках преобладает опад ели. Сосна представлена фракцией коры (4,4–4,2%) на обоих технологических участках. Березовые листья (4,3%) встречаются только на пасечных участках. Опад растений подлеска кустарниковой формы (шиповник, ива) составляет 22,9% и 28,0% от общего количе-

ства в зимне-весеннем опаде на пасечных и волочных участках соответственно. В опаде присутствует и внеярусная растительность. Эпифитные лишайники встречаются только в зимне-весеннем опаде и их количество варьирует от 6,2% (пасека) до 23,6% (волок). Растительные остатки составляют 10,5–11,1% от общей массы зимне-весеннего опада.

В летне-осеннем опаде на пасечных участках доминируют листья березы (48,9%). В опаде подлеска кроме листьев шиповника (25,5%) представлены листья рябины (3,9%) и ивы (6,6%). На волочных участках преобладают фракции ивы (56,5%) и листья березы (27,3%). Вклад листьев жимолости (4,3%) и шиповника (1,0%) невелик.

Фракции хвойных деревьев (ель и сосна) составляют 4,5% и 3,0% на пасечных и волочных участках соответственно. Растительные остатки занимают 7,9–10,6% от общей массы летне-осеннего опада.

Таким образом, поступление наземного древесного опада зависит от лесовосстановления на технологическом элементе участка вырубki. На пасечном участке значительная часть древесного годового опада приходится на фракции березы, на волочных участках – ивы.

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. Бобкова К. С., Кузнецов М. А. Бюджет углерода в экосистемах среднетаежных коренных ельников // Журнал общей биологии. 2022. Т. 83. № 6. С. 434–449. doi: 10.31857/S0044459622060033
2. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2022 году» / под общ. ред. ГБУ РК «ТФИ РК». Сыктывкар : Минприроды Республики Коми. 2023. 164 с.
3. Грязькин А. В. Экологические факторы регулирования возобновительных свойств таежных ельников (на примере преобладающих типов леса) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16. СПб., 1998. 41 с.
4. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л. : Наука, 1967.
5. 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.

К СОСТОЯНИЮ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ РЕДКИХ СТЕПНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «КУТУЛУКСКИЕ ЯРЫ» (САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В. Н. Ильина, С. А. Рогов, Н. А. Рогова

*Самарский государственный социально-педагогический университет,
Siva@mail.ru, rogov.stanislav@sgspu.ru, rogoва.natalya@sgspu.ru*

В статье представлены результаты исследования ценопопуляций (ЦП) редких видов растений, встречающихся на территории памятника природы регионального значения Самарской области «Кутулулукские Яры». Растительный покров испытывает значительную пастбищную нагрузку, в связи с чем состояние ЦП некоторых видов редких растений находятся в угрожаемом состоянии. Антропогенный пресс обуславливает снижение численности особей некоторых видов, изменение онтогенетической структуры их популяций. Угрожаемое состояние отмечено для популяций *Aster alpinus*, *Clausia aprica*, *Pulsatilla patens*, *Scabiosa isetensis*, *Medicago cancellata*, *Ephedra distachya*, *Arenaria koriniana*, *Otites baschkirorum*, *Galatella angustissima*, *Tanacetum sclerophyllum*, *Jurinea multiflora*, *Chartolepis intermedia*, *Onosma simplicissima* и *Ferula tatarica*.

Ключевые слова: ценопопуляция, тип ценопопуляции, численность особей, редкий вид растений.

Определение экологического состояния природно-территориальных комплексов, в том числе особо охраняемых природных территорий (ООПТ), включает разноплановые работы, среди которых все заметное место приобретают популяционно-онтогенетические исследования [1–3].

На территории Самарской области популяции редких видов растений изучаются длительное время в рамках ведения Красной книги региона и определения состояния растительного покрова в ООПТ. В связи с происходящими изменениями климата и все возрастающей антропогенной нагрузкой изучение популяций редких и исчезающих видов региональных флор является актуальным направлением среди большого объема биоэкологических исследований.

Территория исследования представляет собой памятник природы регионального значения «Кутулулукские яры», который расположен в Богатовском районе Самарской области к северо-западу от с. Беловка, площадь 152,9 га. Охраняемая территория представляет собой склоны коренного берега, обращенные к р. Кутулулук, с ярко выраженными петрофитными вариантами степей. Флора природно-территориального комплекса отличается богатством, изучена разными исследователями [2, 4–6], однако популяционные исследования различных видов растений осуществлялись лишь нашей рабочей группой.

Среди редких и уязвимых видов растений в 2023 г. отмечено 22 представителя степной флоры, для которых было возможно провести популяционно-онтогенетические исследования. Многие из них включены в Красные книги РФ и Самарской области [2, 7]. В таблице представлены данные о типе и состоянии их популяций в год исследования. Данные приведены для 10 учетных площадок стандартного размера (по 100 м²) и не могут быть экстраполированы на всю площадь памятника природы.

Таблица

Состояние ценопопуляций редких видов растений (2023 г.)

Представитель	Число особей	Тип ценопопуляции	Состояние ценопопуляции
1. <i>Astragalus zingeri</i>	111	зрелая	удовлетворительное
2. <i>Iris pumila</i>	203	зрелая	удовлетворительное
3. <i>Koeleria sclerophylla</i>	400	зрелая	удовлетворительное
4. <i>Stipa pennata</i>	900	зрелая	удовлетворительное
5. <i>Adonis vernalis</i>	323	зрелая	удовлетворительное
6. <i>Aster alpinus</i>	45	стареющая	неудовлетворительное
7. <i>Clausia aprica</i>	38	стареющая	неудовлетворительное
8. <i>Ferula tatarica</i>	65	стареющая	неудовлетворительное
9. <i>Jurinea ledebourii</i>	261	стареющая	удовлетворительное
10. <i>Pulsatilla patens</i>	25	зрелая	неудовлетворительное
11. <i>Scabiosa isetensis</i>	33	зрелая	неудовлетворительное
12. <i>Hedysarum grandiflorum</i>	127	зрелая	удовлетворительное
13. <i>Medicago cancellata</i>	23	зрелая	неудовлетворительное
14. <i>Ephedra distachya</i>	34	стареющая	неудовлетворительное
15. <i>Arenaria koriniana</i>	12	зрелая	неудовлетворительное
16. <i>Otites baschkirorum</i>	27	стареющая	неудовлетворительное
17. <i>Astragalus macropus</i>	155	стареющая	удовлетворительное
18. <i>Galatella angustissima</i>	34	стареющая	неудовлетворительное
19. <i>Tanacetum sclerophyllum</i>	29	стареющая	неудовлетворительное
20. <i>Jurinea multiflora</i>	44	стареющая	неудовлетворительное
21. <i>Chartolepis intermedia</i>	14	стареющая	неудовлетворительное
22. <i>Onosma simplicissima</i>	46	зрелая	неудовлетворительное

Малочисленными оказались ценопопуляции *Aster alpinus*, *Clausia aprica*, *Pulsatilla patens*, *Scabiosa isetensis*, *Medicago cancellata*, *Ephedra distachya*, *Arenaria koriniana*, *Otites baschkirorum*, *Galatella angustissima*, *Tanacetum sclerophyllum*, *Jurinea multiflora*, *Chartolepis intermedia*, *Onosma simplicissima* (менее 50 особей на обследованных участках).

Учет демографических особенностей показал, что стареющий тип ценопопуляций в сезон исследования свойственен для *Aster alpinus*, *Clausia aprica*, *Ferula tatarica*, *Jurinea ledebourii*, *Ephedra distachya*, *Otites baschkirorum*, *Astragalus macropus*, *Galatella angustissima*, *Tanacetum sclerophyllum*, *Jurinea multiflora*, *Chartolepis intermedia*. В популяциях указанных видов процессы отмирания особей преобладают над естественным возобновлением.

Неудовлетворительным считаем состояние ценопопуляций *Aster alpinus*, *Clausia aprica*, *Pulsatilla patens*, *Scabiosa isetensis*, *Medicago cancellata*,

Ephedra distachya, *Arenaria koriniana*, *Otites baschkirorum*, *Galatella angustissima*, *Tanacetum sclerophyllum*, *Jurinea multiflora*, *Chartolepis intermedia*, *Onosma simplicissima* и *Ferula tatarica*.

Причиной снижения численности особей некоторых видов, изменения пространственно-онтогенетической структуры, снижение их устойчивости и способности к самовозобновлению чаще всего является выпас скота, рекреационная нагрузка, пирогенный фактор, приводящие к изменению условий местообитаний, прямому уничтожению самих растений и их зачатков, снижающих жизненное состояние особей и приводящее к быстрому старению особей.

В качестве рекомендаций по сохранению редких видов растений на территории памятника природы регионального значения Самарской области «Кутулукские яры» считаем необходимым усилить контроль за посещением территории туристами и местным населением, профилактику и быстрое тушение пожаров, регламентировать выпас крупного рогатого скота.

Библиографический список

1. Жукова Л. А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола : ЛАНАР, 1995. 224 с.
2. Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений и грибов / под ред. С. А. Сенатора и С. В. Саксонова. Самара, 2017. 384 с.
3. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–34.
4. Корчикова Т. А., Шаланов И. В. Раритетная флора памятника природы «Кутулукские яры» // Структурно-функциональная организация и динамика растительного покрова : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященная 100-летию со дня рождения д. б. н., проф. В. Е. Тимофеева (1–3 февраля 2012 г., Самара). Самара : ПГСГА, 2012. С. 73–75.
5. Корчикова Т. А., Шаланов И. В., Плаксина Т. И. Флористический состав памятника природы «Кутулукские яры» (Самарская область) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. С. 1218–1222.
6. Саксонов С. В., Сенатор С. А. Путеводитель по Самарской флоре (1851–2011). Флора Волжского бассейна. Т. I. Тольятти : Кассандра, 2012. 511 с.
7. Красная книга Российской Федерации (растения) / Гл. редкол.: Ю. П. Трутнев и др.; Сост. Р. В. Камелин и др. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.

К СОСТОЯНИЮ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ НЕКОТОРЫХ РЕДКИХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ ДОЛИНО-ВОДОСБОРНОЙ ГЕОСИСТЕМЫ РЕКИ КОНДУРЧИ В ВЕРХНЕМ ТЕЧЕНИИ (САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А. А. Богданова, В. Н. Ильина

*Самарский государственный социально-педагогический университет,
eresko.anastasiya@sgspu.ru, Siva@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования ценопопуляций редких видов растений, встречающихся на территории верховьев долинно-водосборной геосистемы реки Кондурчи в Самарской области. Растительный покров испытывает рекреационную, пирогенную и пасквальную нагрузку, в

связи с чем состояние ценопопуляций некоторых видов редких растений находятся в угрожаемом состоянии. Антропогенный пресс обуславливает снижение численности особей некоторых видов, изменения онтогенетической структуры популяций и переход их к стареющему типу. Изучены ценопопуляции 35 редких видов растений. Угрожаемое состояние отмечено для популяций *Vupleurum aureum* и *Maianthemum bifolium*.

Ключевые слова: ценопопуляция, тип ценопопуляции, численность особей, редкий вид растений.

Оценка современного экологического состояния природно-территориальных комплексов в интенсивно освоенных регионах, к которым относится и Самарская область, требует огромного массива разнообразных данных. Выявление особенностей растительного покрова и определения категории редкости видов растений в настоящее время невозможно без применения популяционно-онтогенетических методов исследования [1–3].

Зачастую на удалении от крупных населенных пунктов и предприятий агропромышленного комплекса природно-территориальные комплексы находятся в лучшем состоянии, что позволяет именно здесь создавать охраняемые природные территории.

В Самарской области остро стоит вопрос сохранности степных природных комплексов, которые за многие десятилетия претерпели значительные изменения и существенно сократили свою площадь. Степные участки на коренном берегу реки Кондурча и ее притоков имеют высокую значимость в охране степных экосистем и степных видов растений в связи с хорошей сохранностью. Этот факт неоднократно отмечался различными авторами [2, 4].

В 2022–2023 гг. нами обследовано 12 локальных пунктов в пределах долинно-водосборной геосистемы р. Кондурча в верхнем течении на территории Челно-Вершинского, Шенталинского и Сергиевского муниципальных районов Самарской области. В ходе работ использованы методы флористических, геоботанических и популяционных исследований [1, 3, 5]. Работы выполнены в рамках ведения Красной книги региона и определения состояния растительного покрова на особо охраняемых природных территориях. В связи с происходящими изменениями климата и все возрастающей антропогенной нагрузкой изучение популяций редких и уязвимых видов локальных флор является актуальным направлением.

Среди редких и уязвимых видов растений в 2022–2023 гг. отмечено 35 представителей степной, лесостепной и лугово-степной флоры, для которых было возможно провести популяционно-онтогенетические исследования в связи с численностью особей. Многие из них включены в Красные книги РФ и Самарской области [6, 7]. В таблице представлены данные о типе и состоянии их ценопопуляций в годы исследования. Данные приведены для 12 локальных участков (в каждом заложены учетные площадки не менее

5 штук, стандартного размера 100 м² или в границах фитоценоза) и не могут быть экстраполированы на всю площадь геосистемы.

Таблица

Состояние ценопопуляций редких видов растений (2022–2023 годы)

Представитель	Численность ценопопуляции	Тип ценопопуляции	Состояние ценопопуляции
1. <i>Adenophora liliifolia</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
2. <i>Adonanthe vernalis</i>	многочисленная	зрелая	удовлетворительное
3. <i>Adonanthe volgensis</i>	многочисленная	зрелая	удовлетворительное
4. <i>Artemisia salsoloides</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
5. <i>Astragalus zingerii</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
6. <i>Astragalus cornutus</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
7. <i>Astragalus macropus</i>	многочисленная	стареющая	удовлетворительное
8. <i>Astragalus wolgensis</i>	многочисленная	зрелая	удовлетворительное
9. <i>Atraphaxis frutescens</i>	среднечисленная	стареющая	удовлетворительное
10. <i>Bupleurum aureum</i>	малочисленная	стареющая	неудовлетворительное
11. <i>Eremogone koriniana</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
12. <i>Fritillaria ruthenica</i>	среднечисленная	зрелая	удовлетворительное
13. <i>Gentiana pneumonanthe</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
14. <i>Gladiolus tenuis</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
15. <i>Globularia punctata</i>	среднечисленная	стареющая	удовлетворительное
16. <i>Hedysarum gmelinii</i>	среднечисленная	зрелая	удовлетворительное
17. <i>Hedysarum grandiflorum</i>	многочисленная	зрелая	удовлетворительное
18. <i>Hedysarum razoumovianum</i>	многочисленная	зрелая	удовлетворительное
19. <i>Koeleria sclerophylla</i>	многочисленная	стареющая	удовлетворительное
20. <i>Laser trilobum</i>	среднечисленная	зрелая	удовлетворительное
21. <i>Linum flavum</i>	малочисленная	стареющая	удовлетворительное
22. <i>Linum perenne</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
23. <i>Maianthemum bifolium</i>	малочисленная	зрелая	неудовлетворительное
24. <i>Nepeta ucranica</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
25. <i>Oxytropis knjazevii</i>	среднечисленная	зрелая	удовлетворительное
26. <i>Polemonium caeruleum</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
27. <i>Polygala sibirica</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
28. <i>Primula macrocalyx</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное
29. <i>Pulsatilla patens</i>	среднечисленная	зрелая	удовлетворительное
30. <i>Scabiosa isetensis</i>	среднечисленная	зрелая	удовлетворительное
31. <i>Stipa korshinskyi</i>	среднечисленная	зрелая	удовлетворительное
32. <i>Stipa pennata</i>	многочисленная	зрелая	удовлетворительное
33. <i>Stipa pulcherrima</i>	среднечисленная	зрелая	удовлетворительное
34. <i>Stipa tirsia</i>	многочисленная	зрелая	удовлетворительное
35. <i>Trollius europaeus</i>	малочисленная	зрелая	удовлетворительное

Малочисленными (менее 500 зарегистрированных генеративных особей) оказались ценопопуляции *Adenophora liliifolia*, *Artemisia salsoloides*, *Astragalus zingerii*, *Astragalus cornutus*, *Bupleurum aureum*, *Eremogone korini-*

ana, *Gentiana pneumonanthe*, *Gladiolus tenuis*, *Linum flavum*, *Linum perenne*, *Maianthemum bifolium*, *Nepeta ucranica*, *Polemonium caeruleum*, *Polygala sibirica*, *Primula macrocalyx*, *Trollius europaeus*.

Учет демографических особенностей показал, что стареющий тип ценопопуляций в сезоны исследования свойственен для *Astragalus macropus*, *Atraphaxis frutescens*, *Vupleurum aureum*, *Globularia punctate*, *Koeleria sclerophylla*, *Linum flavum*.

Неудовлетворительным на данной территории считаем состояние ценопопуляций всего двух видов – это *Vupleurum aureum* и *Maianthemum bifolium*. Однако все виды, популяции которых отнесены к малочисленным, могут быть внесены в группу угрожаемых. Лимитирующими развитие популяций факторами можно считать отчуждение территории, перевыпас скота, рекреация, пожары. В конкретных локалитетах состояние локусов популяции может отличаться и зависеть от различных факторов.

Библиографический список

1. Жукова Л. А. Популяционная жизнь луговых растений. Йошкар-Ола : ЛАНАР, 1995. 224 с.
2. Лапов И. В., Соловьева В. В. Гидрботанический мониторинг реки Кондурчи и Кондурчинского водохранилища // Структурно-функциональная организация и динамика растительного покрова : материалы III Всерос. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию Самарского отделения РБО. Самара : СГСПУ, 2028. С. 106–115.
3. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–34.
4. Иванова А. В. Материалы к флоре верховьев водосборного бассейна реки Кондурча (Самарская область) // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2021. № 15 (1). С. 20–46. doi: 10.24412/2072-8816-2021-15-1-20-46
5. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Труды БИН АН СССР. Сер. 3. Геоботаника. М. : АН СССР, 1950. Вып. 6. С. 7–204.
6. Красная книга Российской Федерации (растения) / Гл. редкол.: Ю. П. Трутнев и др.; Сост. Р. В. Камелин и др. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.
7. Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений и грибов / под ред. С. А. Сенатора и С. В. Саксонова. Самара, 2017. 384 с.

СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *CYPRIPEDIUM CALCEOLUS* L. (*ORCHIDACEAE* JUSS.) В АФАНАСЬЕВСКОМ РАЙОНЕ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

И. А. Коновалова, М. Н. Скоробогатая, Е. В. Лелекова
Вятский государственный университет,
S-dulcamara@yandex.ru, mariyashakleina@mail.ru, Lelekovaev1980@mail.ru

В Афанасьевском районе Кировской области изучены три ценопопуляции (ЦП) *Cypripedium calceolus* L. ЦП описаны в составе лесных (ЦП 1 и ЦП 3) сообществ коренного берега и лугового (ЦП 2) ценоза на надпоймен-

ной террасе р. Камы. Изученные ЦП малочисленные (4–7 особей), неполно-
членные, зреющие.

Ключевые слова: *Cypripedium calceolus* L., редкий малочисленный вид,
ценопопуляция, онтогенетический спектр.

Венерин башмачок настоящий (*Cypripedium calceolus* L.) – евроазиат-
ский бореально-неморальный вид, ареал которого охватывает всю Европу
(кроме крайнего севера и юга), значительную часть Азии, Корейский полу-
остров и северную Японию [1, 2]. В России отмечен по всей лесной зоне ев-
ропейской части (кроме Крайнего Севера), на Урале, на западе Восточной
Сибири, Дальнем Востоке и юге о. Сахалин [3]. *C. calceolus* встречается пре-
имущественно в малонарушенных лесах [4]. В Кировской области – по ело-
вым, елово-пихтовым и сосново-еловым лесам на известняках, по заболочен-
ным осиново-еловым лесам на торфянистых почвах [5].

Как редкий малочисленный вид, *C. calceolus* занесен в Красные книги
Российской Федерации (3 категория редкости) [6], Кировской области (3 ка-
тегория редкости) [7], а также в Красные книги 59 регионов Российской Фе-
дерации [1]. Лимитирующие факторы в Кировской области, приводящие к со-
кращению численности вида, – вырубка лесов, рекреация, сбор на букеты,
выкапывание.

Цель настоящего исследования – установить структуру ценопопуляций
C. calceolus на территории Афанасьевского района Кировской области.

Полевые исследования проводили в августе 2021 г. В местах произрас-
тания *C. calceolus* закладывали пробные площади размером 400 м² или 100 м²
в зависимости от типа сообществ и проводили геоботанические описания по
общепринятым методикам [8–11]. Для характеристики ценозов, расположен-
ных узкой полосой вниз по склону, закладывали трансекты. С помощью нави-
гатора GPSMAP 64st указывали координаты сообществ и наносили их на кар-
ту в программе SASPlanet. Онтогенетические состояния *C. calceolus* выделяли
согласно работам Л. В. Денисовой и М. Г. Вахрамеевой [12], М. Б. Фардеевой
[13]; исследование ценопопуляций (ЦП) вида – по классическим методикам
[14–17]. В качестве счетных единиц отмечали особи разных онтогенетических
состояний. На основании полученных данных рассчитывали индексы воз-
растности [18] и эффективности [19]. Тип ЦП определяли по классификации
«дельта-омега» [19, 20]. В каждой ЦП у особей учитывали биометрические
показатели: высоту надземной части растения, длину междоузлий, длину и
ширину листовых пластинок, число жилок. В камеральных условиях обраба-
тывали данные геоботанических описаний, характеризовали типы сообществ.
Статистическую обработку биометрических данных проводили с помощью
одностороннего дисперсионного анализа ANOVA.

В Афанасьевском районе Кировской области изучено три ЦП венерино-
го башмачка настоящего. Ценопопуляция 1 (ЦП 1) изучена к северо-западу от
д. Анфиногеново на юго-западном склоне крутизной 60–70°. Ее численность

составила 7 особей, которые распределены по площадке изолированными группами. На вершине склона в «окне распада» в составе ельника разнотравного с сомкнутостью крон древостоя 0,4 отмечена одна временно нецветущая генеративная особь *C. calceolus* (v_3) (координаты N 58°45.925' E 53°20.278'). В древостое доминирует ель высотой 17–18 м, единично встречаются пихта, сосна, осина и береза. В насаждении преобладает средний и крупный по высоте подрост пихты высокой жизненности, отмечен еловый подрост средней жизненности. Проективное покрытие подлеска составляет 40%, в его составе – *Prunus padus* L., высотой 4 м, *Lonicera xylosteum* L., *Juniperus communis* L. В травяно-кустарничковом ярусе (проективное покрытие 90%) отмечены: *Actaea erythrocarpa* (Fisch.) Freyn, *Aegopodium podagraria* L., *Asarum europaeum* L., *Fragaria vesca* L., *Rubus saxatilis* L., *Aconitum septentrionale* Koelle, *Galium mollugo* L., *Equisetum sylvaticum* L., *Equisetum hyemale* L., *Equisetum arvense* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Thalictrum flavum* L., *Trollius europaeus* L., *Geranium sylvaticum* L., *Carex rhizina* Blytt ex Lindblom, *Veronica chamaedrys* L., *Galium boreale* L., *Vicia cracca* L., *Solidago virgaurea* L., *Melica nutans* L., *Cicuta virosa* L. Среди мхов в сообществе обнаружены: *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst., *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Mnium* sp., *Dicranum scoparium* Hedw.

В центре склона в составе елово-соснового разнотравного леса с примесью пихты (сомкнутость крон древостоя 0,6) отмечена микрогруппировка из 5 особей *C. calceolus* (координаты N 58°44.466' E 53°22.492'). Одна из них взрослая вегетативная (v_3), две – молодые генеративные (g_1), две – взрослые генеративные (g_2). Ниже у основания склона отмечена еще одна молодая генеративная особь *C. calceolus*. Пихта в составе древостоя имеет высоту 17–18 м и обладает высокой жизненностью, ель (высота 18–20 м) и сосна (высота 20–22 м) – средней. В насаждении преобладает средний по высоте подрост ели и пихты, единичен березовый подрост. В подлеске кроме указанных выше видов отмечены *Sorbus aucuparia* L., *Rosa acicularis* Lindl., *Rubus idaeus* L. Травяно-кустарничковый ярус формируют: *A. podagraria*, *R. saxatilis*, *L. vernus*, *F. vesca*, *G. boreale*, *A. europaeum*, *G. sylvaticum*, *E. arvense*, *A. erythrocarpa*, *S. virgaurea*, *Vaccinium myrtillus* L., *C. rhizina*, *Melampyrum pratense* L., *Oxalis acetosella* L., *Trientalis europaea* L., *Orthilia secunda* (L.) House, *Maianthemum bifolium* (L.) F.W.Schmidt, *Vaccinium vitis-idaea* L. Рядом с ЦП в мочажинах обнаружены *C. virosa*, *Comarum palustre* L., *Menyanthes trifoliata* L., *Calla palustris* L. Из лиан произрастает *Atragene sibirica* L.

Онтогенетический спектр ЦП 1, построенный на основании обобщения состава особей разных онтогенетических состояний, – центрированный одновершинный с пиком на молодых генеративных особях (рис.). Показатели индексов возрастности ($\Delta = 0,2921$) и энергетической эффективности ($\omega = 0,7427$) позволяют отнести данную ЦП по классификации «дельта-омега» к зреющей.

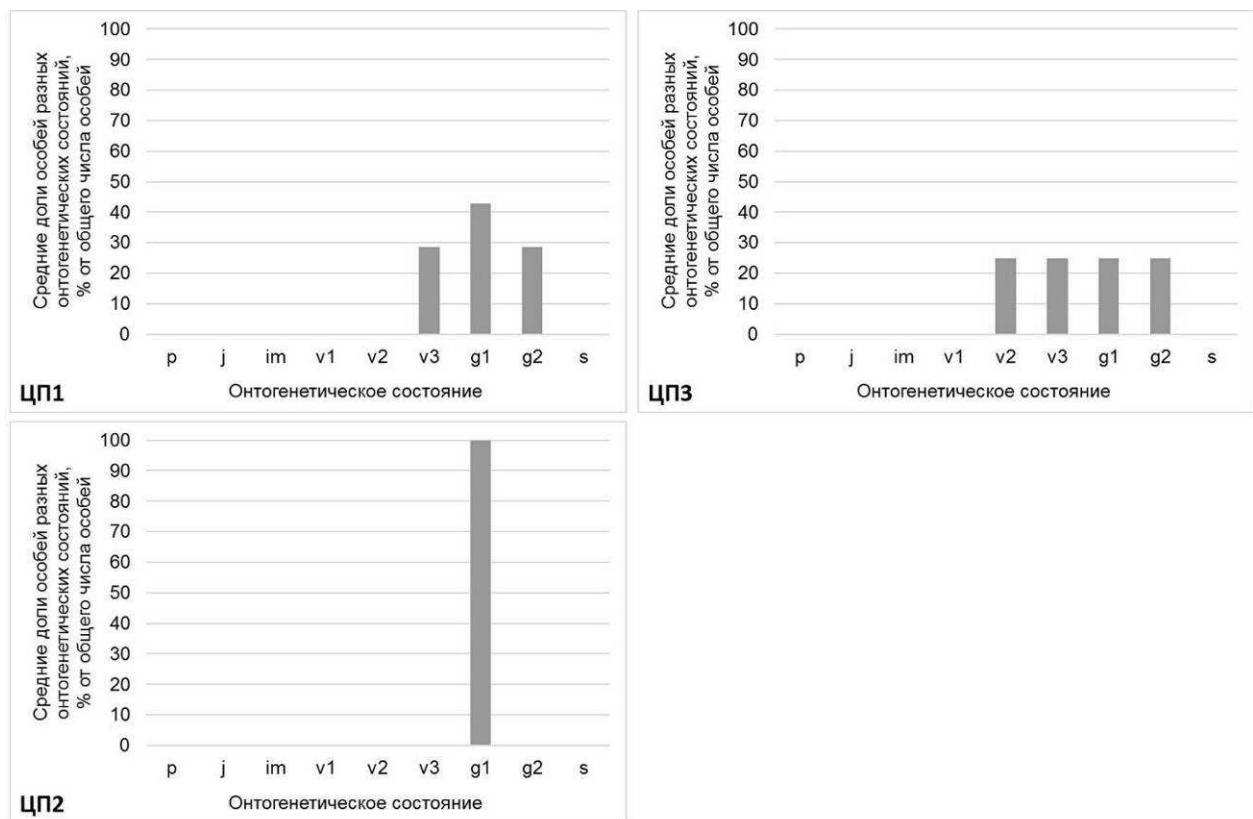


Рис. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Cypripedium calceolus*: ЦП 1, 2, 3 – порядковые номера ценопопуляций; онтогенетические состояния особей: p – проросток; j – ювенильное; im – имматурное; v₁ – молодое виргинильное; v₂ – средневозрастное виргинильное; v₃ – взрослое вегетативное; g₁ – молодое генеративное; g₂ – взрослое генеративное; s – сенильное

Ценопопуляция 2 (ЦП 2) расположена на зарастающем разнотравном луге пологого юго-западного склона надпойменной террасы правого берега р. Камы рядом с д. Меркучи (координаты N 58°44.454' E 53°22.394'). Луг сформировался в результате сплошной рубки в 50-е годы, до 1980-х годов он использовался в качестве сенокосных угодий. На лугу отмечен средний и крупный подрост сосны, ели и пихты высокой жизненности. Среди кустарников 10% проективного покрытия занимает *P. padus*, реже встречается *R. acicularis*. Травяной покров слагают преимущественно представители разнотравья: *Geranium pratense* L., *Bupleurum aureum* Fisch. ex Hoffm., *Sonchus arvensis* L., *Achillea millefolium* L., *Origanum vulgare* L., *S. virgaurea*, *A. podagraria*, *G. boreale*, *A. septentrionale*, *C. virosa*, реже встречаются злаки (*Dactylis glomerata* L., *Agrostis gigantea* Roth.) и бобовые (*Vicia cracca* L., *Trifolium pratense* L.).

Численность ЦП 2 составляет 7 молодых генеративных особей. Соответственно, онтогенетический спектр является одновершинным. Значения индексов возрастности ($\Delta = 0,2689$) и энергетической эффективности ($\omega = 0,7864$) позволяют отнести ЦП 2 к зреющей (рис.).

Особи *C. calceolus* в ценопопуляции 3 (ЦП 3) изучены на крутом северо-западном склоне рядом с д. Шукино в составе пихтово-елово-соснового насаждения с примесью осины (координаты N 58°40.234' E 53°24.225'). В древостое сомкнутостью крон 0,4 преобладает сосна высотой 19–20 м, высота ели и пихты – 16–18 м. Отмечен средний и крупный подрост ели высокой жизненности. В подлеске доминирует *L. xylosteum*, отмечены *Ribes nigrum* L., *S. aucuparia* и *R. acicularis*. Травяно-кустарничковый ярус формируют: *Pyrola rotundifolia* L., *Ajuga reptans* L., *Glechoma hederacea* L., *A. podagraria*, *V. cracca*, *L. vernus*, *F. vesca*, *O. acetosella*, *G. boreale*, *G. sylvaticum*, *O. secunda*, *R. saxatilis*. Также отмечен *A. sibirica*. Численность ЦП 3 составляет 4 особи. Онтогенетический спектр сложно отнести к какому-либо типу, поскольку каждая особь ЦП находится в своем онтогенетическом состоянии (рис.). На основе показателей возрастности ($\Delta = 0,2518$) и энергетической эффективности ($\omega = 0,6566$) данную ценопопуляцию относим к зреющей.

В результате анализа биометрических данных установлено отсутствие статистически значимых различий по исследуемым параметрам у особей одинаковых онтогенетических состояний внутри ЦП и между ними. Средние их значения указаны в таблице.

Таблица

Средние биометрические значения особей *Cypripedium calceolus* разных онтогенетических состояний в изученных ценопопуляциях

Онтогенетическое состояние особи	Высота надземной части растения, см	Длина междоузлий, см	Длина листовой пластинки, см	Ширина листовой пластинки, см	Число жилок, шт.
v ₂	24,5	4,8±0,8	11,6±1,4	3,3±0,6	7,0±0,7
v ₃	43,8±1,9	8,1±0,7	12,7±0,9	7,6±0,6	9,6±0,5
g ₁	42,3±1,7	7,37±0,2	14,1±0,5	7,2±0,2	10,1±0,4
g ₂	45,5±1,3	8,05±0,9	14,3±0,6	6,9±0,2	9,2±0,6

Таким образом, анализ численности и онтогенетического состава изученных ЦП *C. calceolus* показал их малочисленность (4–7 особей) и неполночленность. Все ЦП относятся к зреющим. Для более полной оценки состояния сообществ и разработки мер охраны вида требуется проведение дальнейших мониторинговых исследований.

Библиографический список

1. Вахрамеева М. Г., Варлыгина Т. И., Татаренко И. В. Орхидные России (биология, экология и охрана). М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2014. 437 с.
2. Сулейманова В. Н., Егорова Н. Ю. К экологии *Cypripedium calceolus* L. (Orchidaceae) в Кировской области // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. Т. 6 (72). 2020. № 2. С. 234–248. doi: 10.37279/2413-1725-2020-6-2-234-248
3. Егорова Н. Ю., Сулейманова В. Н. Особенности изменчивости морфологических структур *Cypripedium calceolus* (Orchidaceae) и их биотопическая обусловленность в лесных экосистемах южной тайги (Россия) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2021. № 6(1). doi: 10.24189/ncr.2021.006

4. Состояние ценопопуляций *Cypripedium calceolus* L. (Orchidaceae) в Брянской области / М. В. Горнова, О. И. Евстигнеев, А. В. Горнов, Е. В. Ручинская // Бюллетень Брянского отделения РБО. 2018. № 4 (16). С. 19–29.
5. Тарасова Е. М. Флора Вятского края. Сосудистые растения. Киров : ОАО Кировская областная типография, 2007. 440 с.
6. Красная книга Российской Федерации (Растения и грибы). М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2008. 855 с.
7. Красная книга Кировской области: Животные, растения, грибы. Изд. 2-е изд. Киров : Кировская областная типография, 2014. 336 с.
8. Сукачев В. Н. Растительные сообщества. Введение в фитоценологию. Л., М., 1928. 232 с.
9. Шенников А. П. Введение в геоботанику. Л., 1964. 447 с.
10. Ниценко А. А. Растительная ассоциация и растительное сообщество как первичные объекты геоботанического исследования. Л., 1971. 184 с.
11. Ипатов В. С., Кирикова Л. А. Фитоценология : учебник. СПб., 1997. 316 с.
12. Денисова Л. В., Вахрамеева М. Г. Род башмачок (Венерин башмачок) – *Cypripedium* L. // Биологическая флора Московской области. 1978. Вып. 4. М. : Изд-во Московского ун-та. С. 62–70.
13. Фардеева М. Б. Онтогенез башмачка настоящего, или Венерина башмачка (*Cypripedium calceolus* L.) // Онтогенетический атлас лекарственных растений : учебное пособие. Т. III. Йошкар-Ола : МарГУ, 2002. С. 114–120.
14. Воронцова Л. И., Заугольнова Л. Б. О подходах к изучению ценопопуляций растений // Бот. журн. 1979. № 64 (9). С. 1296–1307.
15. Заугольнова Л. Б. Основные характерные признаки ценопопуляций. Выбор участка и заложение площадок // Изучение структуры и взаимоотношение ценопопуляций : методические разработки для студентов биологических специальностей. М., 1986. С. 3–12.
16. Заугольнова Л. Б. Способы членения исследуемых биосистем // Восточноевропейские широколиственные леса. М., 1994. С. 50–60.
17. Денисова Л. В., Никитина С. В., Заугольнова Л. Б. Программа и методика наблюдений за ценопопуляциями видов растений «Красной книги СССР». М., 1986. 34 с.
18. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Науч. докл. высш. школы. Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–33.
19. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
20. Османова Г. О., Животовский Л. А. Онтогенетический спектр как индикатор состояния ценопопуляций растений // Известия РАН. Серия Биологическая. 2020. № 2. С. 144–152.

ОСОБЕННОСТИ И ФЛОРИСТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЛУГОВОГО БИОГЕОЦЕНОЗА АГАНИНСКОЙ ДУБРАВЫ

С. М. Петрова, Е. Е. Федотова, Б. Асеров, Э. В. Марамохин
Костромской государственный университет,
simkoria@gmail.com

Статья посвящена комплексному экологическому, геоботаническому и флористическому исследованию лугового биogeоценоза в окрестностях будущего памятника природы «Аганинская дубрава», расположенного рядом с городом Костромой.

Ключевые слова: «Аганинская дубрава», флористическое разнообразие, луговой биogeоценоз, EcoScaleWin, индекс Жаккара.

Аганинская дубрава имеет водоохранное значение для р. Костромы. К тому же, для территории Костромской области сообщества пойменных дубрав, находящихся на границе ареала, являются редкостью. В районе Аганинской дубравы расположен луговой биogeоценоз. Лугопастбищные экосистемы представляют собой важный компонент биосферы. На территории дубравы произрастает более 10 видов растений, которые включены в Красную книгу Костромской области. В связи с этим Аганинской дубраве предлагается присвоить статус особо охраняемой природной территории в категории «памятник природы».

Для изучения флористического разнообразия выбраны суходольный и сенокосный луга. Биogeоценоз луга исследовали с помощью метода пробных площадей. Перед тем, как выполнить геоботаническое описание, проводили рекогносцировочное изучение флоры – составление списка произрастающих в данной местности растений, чтобы иметь общее представление о растительности исследуемого участка. Затем полученные данные обрабатывали с помощью программного обеспечения EcoScaleWin, которое обладает средствами графической иллюстрации анализа списка видов пользователя по выбранной экологической шкале [1].

Для сравнения суходольного и сенокосного лугов использовали коэффициент флористического сходства Жаккара [2]:

$$K_j = C / (A + B - C) \times 100\%,$$

где А и В – число видов в первом и втором описаниях, соответственно; С – число общих видов для этой пары описаний.

Исследование проводили в летний полевой сезон 2023 года в луговом биogeоценозе рядом с Аганинской дубравой. Общая площадь дубравы 6,0 га, расположена на расстоянии 0,5 км к северу от поселка Волжский, 300 м от границы г. Костромы, 0,5 км к востоку от старого русла р. Костромы. В дубовых сообществах, возраст которых более 200 лет, отмечаются подрост 2–3 лет

и всходы дуба, среди трав преобладают злаки. При проведении полевых работ заложено четыре геоботанические площадки на суходольных лугах.

На площадках определяли видовое разнообразие и покрытие для каждого вида растения (табл. 1). За период работы выявлено 24 семейства, в составе которых присутствует пять видов из Красной книги Костромской области [3, 4] (вид отмечен чертой).

Таблица 1

Флористическое разнообразие лугов Аганинской дубравы

Семейство	Латинское название вида	Наличие видов	
		суходольный луг	сенокосный луг
1	2	3	4
Березовые Betulaceae	<i>Betula pendula</i> Royal Frost.	+	+
Бобовые Fabaceae	<i>Vicia cracca</i> L. <i>Trifolium repens</i> L. <i>Trifolium hybridum</i> L. <i>Trifolium pratense</i> L.	+	+
Буковые Fagaceae	<i>Quercus robur</i> L.		+
Бурчаниковые Boraginaceae	<i>Myosotis arvensis</i> L. Hill.	+	+
Гвоздичные Caryophyllaceae	<u><i>Dianthus fischeri</i> Spreng.</u> <i>Stellaria graminea</i> L. <i>Coccyanthe flos-cuculi</i> (L.) Fourr. <i>Dianthus superbus</i> L.	+	+
Гераниевые Geraniaceae	<i>Geranium pratense</i> L.	+	+
Горечавковые Gentianaceae	<u><i>Gentiana pneumonanthe</i> L.</u>	+	
Гречишные Polygonaceae	<i>Polygonum bistorta</i> L. <i>Rumex crispus</i> L.	+	+
Жимолостные Caprifoliaceae	<i>Lonicera xylosteum</i> L.		+
Зверобойные Hypericaceae	<i>Hypericum tetrapterum</i> Fries. <i>Hypericum perforatum</i> L.	+	+
Злаки Gramineae	<i>Phleum pratense</i> L. <i>Alopecurus pratensis</i> L. <i>Agrostis tenuis</i> Sibth. <i>Bromus gracillimus</i> Bunge <i>Poa pratensis</i> L.	+	+
Осоковые Cyperaceae	<i>Carex diandra</i> Schrank	+	+

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
Ивовые Salicaceae	<i>Salix cinerea</i> L.		+
Ирисовые Iridaceae	<i>Iris sibirica</i> L.	+	
Колокольчиковые Campanulaceae	<i>Campanula patula</i> L.	+	+
Лютиковые Ranunculaceae	<i>Ranunculus acris</i> L.	+	+
Мареновые Rubiaceae	<i>Galium palustre</i> L. <i>Galium verum</i> L. <i>Galium mollugo</i> L. <i>Galium boreale</i> L.	+	+
Норичниковые Scrophulariaceae	<i>Melampyrum cristatum</i> L.	+	
Первоцветные Primulaceae	<i>Lysimachia nummularia</i> L.	+	+
Подорожниковые Plantaginaceae	<i>Veronica longifolia</i> L. <i>Veronica chamaedrys</i> L. <i>Plantago major</i> L.	+	+
Розоцветные Rosaceae	<i>Geum rivale</i> L. <i>Amelanchier ovalis</i> Medik. <i>Potentilla erecta</i> (L.) Raeusch. <i>Potentilla anserina</i> L. <i>Potentilla palustris</i> (L.) Scop <i>Alchemilla vulgaris</i> L. <i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Elliot <i>Fragaria vesca</i> L. <i>Rubus idaeus</i> L. <i>Geum urbanum</i> L.	+	+
Синюховые Polemoniaceae	<i>Polemonium caeruleum</i> L.	+	+
Сложноцветные Compositae	<i>Tanacetum vulgare</i> L. <i>Leucanthemum vulgare</i> Lam. <i>Achillea millefolium</i> L. <i>Hieracium caespitosum</i> L. <i>Solidago virgaurea</i> L. <i>Centaurea jacea</i> L.	+	+
Яснотковые Lamiaceae	<i>Prunella vulgaris</i> L. <i>Scutellaria hastifolia</i> L. <i>Scutellaria hastifolia</i> L.	+	+

Флористический состав луговых ценозов складывается из групп видов разной ценотической природы. Помимо собственно луговых растений, сюда

входит большое число так называемых лугово-лесных или полянно-опушечных видов. Здесь имеются типичные мезофильные виды.

На площадках определяли покрытие для каждого вида растения по шкале Браун-Бланке [5]. При оценке условий биотопа каждой площади использовали метод средневзвешенной середины интервала. Все полученные данные обработаны в программе EcoScaleWin и отражены в таблицах 2–5.

Таблица 2

**Результаты обработки геоботанических описаний по шкалам
Э. Ландольта**

Индекс и название шкалы	Пробная площадь, балл			
	1	2	3	4
F – шкала увлажнения почвы	3,50	3,00	2,33	2,50
R – шкала кислотности почвы	2,50	3,00	3,00	3,00
N – шкала богатства почвы минеральным питанием	3,50	2,00	3,00	3,00
H – шкала гумусированности почвы	3,00	4,00	3,00	3,50
D – шкала гранулометрического состава почвы	4,50	4,00	4,67	4,00
L – шкала светолюбия	3,00	4,00	3,33	4,00
T – шкала температуры	3,50	2,00	3,33	3,00
K – шкала континентальности	2,50	3,00	3,00	3,00

Исходя из оценки местообитания по точечным шкалам Э. Ландольта, можно отметить, что данные биотопы характеризуются слабокислой почвой с большим содержанием гумуса.

Таблица 3

**Результаты обработки геоботанических описаний по шкалам
Г. Элленберга**

Индекс и название шкалы	Пробная площадь, балл			
	1	2	3	4
L – шкала светолюбия	7,50	7,00	7,00	7,00
T – температурная шкала	5,50	2,00	5,50	5,63
K – шкала континентальности	3,00	4,00	4,00	5,00
F – шкала увлажнения почвы	5,50	5,00	6,00	4,88
R – шкала кислотности почвы	5,00	4,00	6,50	5,87
N – шкала богатства почвы минеральным питанием	4,00	2,00	4,50	4,42

По точечным шкалам Г. Элленберга заметно, что данные биотопы характеризуются влажными почвами, полусветовыми условиями освещенности умеренно теплого климата.

Таблица 4

**Результаты обработки геоботанических описаний по шкалам
Д. Н. Цыганова**

Индекс и название шкалы	Пробная площадь, балл			
	1	2	3	4
1	2	3	4	5
Tm – термоклиматическая шкала	7,50	4,00	8,00	7,50
Kп – шкала континентальности климата	7,50	9,00	9,33	8,00
Om – омброклиматическая шкала	8,00	9,00	7,00	7,50

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5
Cr – криоклиматическая шкала	8,50	4,00	7,33	8,00
Hd – шкала увлажнения почвы	13,00	4,00	10,67	11,00
Tr – шкала солевого режима почвы	8,00	5,00	7,33	8,00
Nt – шкала богатства почвы азотом	5,00	5,00	6,00	5,50
Rc – шкала кислотности почвы	5,50	4,00	7,67	7,00
Lc – шкала освещенности–затенения	3,50	2,00	3,00	3,00
fH – шкала переменности увлажнения	4,50	5,18	6,00	5,00

Исходя из оценки местообитаний по амплитудным шкалам Д. Н. Цыганова можно отметить, что данные биотопы находятся в условиях бореонеморального термоклимата. Луга характеризуются влажно-лесолуговыми с богатыми азотом и гумусом почвами, с умеренным увлажнением, растения находятся в условиях полуоткрытых пространств.

Таблица 5

**Результаты обработки геоботанических описаний по шкалам
Л. Г. Раменского**

Индекс и название шкалы	Пробная площадь, балл			
	1	2	3	4
FE – шкала увлажнения, влажности почвы	65,92	70,34	63,29	62,37
NS – шкала богатства и засоленности почвы	11,74	11,96	13,13	11,08
PD – шкала пастбищной дигрессии	3,44	4,53	3,91	3,38
VF – шкала переменности увлажнения	8,82	10,65	10,12	10,34
A – шкала аллювиальности	2,00	0,00	0,00	0,00

По амплитудным шкалам Л. Г. Раменского выявлено, что биотопы характеризуются влажно луговой, довольно богатой минеральными веществами почвой, для них характерно слабое влияние выпаса и умеренное переменное увлажнение.

Таким образом, использование амплитудных и точечных шкал разных авторов позволило получить наиболее полное представление об экологических условиях изучаемых лугов.

Статистические данные обработки флористического состава по коэффициенту Жаккара представлены в таблице 6.

Таблица 6

**Сходство флористического состава
между геоботаническими площадками по коэффициенту Жаккара**

Коэффициент Жаккара	Площадка 2	Площадка 3	Площадка 4
Площадка 1	0,09	20,5	14,2
Площадка 2		19,3	24,1
Площадка 3			0,03

Флористический состав на геоботанических площадках достаточно разнороден, что отражает индекс Жаккара. Например, больше всего друг от друга отличались площадки 1 и 3, 2 и 4. Видовое разнообразие больше на

суходольном луге (табл. 1), тогда как обилие отдельных видов (например, *Achillea millefolium* L., *Centaurea jacea* L., *Hypericum perforatum* L., *Stellaria graminea* L., *Geranium pratense* L.) больше на сенокосном луге. Такое различие связано с несколькими факторами. Так на суходольном луге большое разнообразие растений обусловлено тем, что они обычно имеют плодородную почву, которая содержит достаточное количество питательных веществ для роста различных видов растений [6, 7].

Таким образом, за полевой период выявлено 24 семейства, 5 видов в составе которых являются редкими и занесены в Красную книгу Костромской области. Исходя из оценки местообитания по экологическим шкалам можно отметить, что почва в районе Аганинской дубравы довольно влажная, обладает слабокислой реакцией, является богатой по содержанию минеральными веществами. Почва имеет среднее или немного повышенное содержание гумуса. Растения Аганинской дубравы избегают песчаные или каменистые почвы, произрастают в условиях полутени, значительно реже встречаются на полном солнечном свете. Являются широко распространёнными видами растений на территории Европейской части России, встречаются в нижнегорном поясе. Флористический состав на геоботанических площадках разнороден, что отражает индекс Жаккара.

Библиографический список

1. Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с помощью программы EcoScaleWin : учебное пособие / Е. В. Зубкова, Л. Г. Ханина, Т. И. Грохлина, Ю. А. Дорогова. Йошкар-Ола, 2008. 96 с.
2. Jaccard P. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques regions voisines // Bull. Soc. Vaudoise sci. Natur. 1901. Vol. 37. Bd. 140. P. 241–272.
3. Белозеров П. И. Флора Костромской области : монография. Кострома, 2008, 197 с.
4. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2014. 635 с.
5. Braun-Blanquet J. Plant Sociology / Transl. by G. D. Fuller, H. S. Conard. New York : McGraw-Hill Book Company, 1932. 439 p.
6. Дементьев М. В., Шутов В. В. О лесах высокой природоохранной ценности // Студенты и молодые ученые КГТУ – производству : материалы 60-й юбилейной межвуз. науч.-технич. конф. молодых ученых и студентов: в 2 т. Т. 2: секции 4–9. Кострома, 2008. С. 100–101.
7. Горчаковский П. Л. Антропогенная трансформация и восстановление продуктивности луговых фитоценозов. Екатеринбург : Изд-во «Екатеринбург», 1999. 156 с.

КОМПЛЕКСНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ И ФЛОРИСТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ АГАНИНСКОЙ ДУБРАВЫ г. КОСТРОМЫ

*П. В. Топорова, А. С. Максимов, М. В. Лебедева, Э. В. Марамохин
Костромской государственный университет, potop-1935@outlook.ru*

В статье представлены сведения о флористическом составе Аганинской дубравы. Проведены геоботанические исследования с применением программы EcoScaleWin по амплитудным и точечным шкалам. Определен коэффициент видового сходства.

Ключевые слова: Аганинская дубрава, флористический состав, проективное покрытие, амплитудные шкалы, пробные площадки, EcoScaleWin.

Лес имеет особое значение для Костромской области, поскольку является одной из основ экономического процветания региона. В настоящее время леса рассматривают как социально-культурную ценность, в отношении которой вырабатываются новые стратегии устойчивого развития. Сегодня главной задачей является разумное использование лесных богатств, их сохранение и приумножение. Основным условием для этого является детальное знание структуры и динамики конкретных лесных экосистем. Аганинская дубрава является уникальным и фактически единственным сохранившимся участком дубового фитоценоза на территории Костромского района Костромской области. В будущем здесь планируется создать памятник природы [1]. В связи с этим необходимо детально изучить растительные сообщества этого участка. Для этого выявлен флористический состав дубравы, в том числе виды, включенные в Красную книгу Костромской области.

Материал собирали в летний период 2023 г. Исследование проводили на четырех пробных площадках размером 20 × 20 м в двух сообществах: дубняке липовом и дубняке осиновом. На них характеризовали древостой: высоту деревьев определяли с помощью эклиметра, диаметр ствола замеряли на уровне груди (около 1,3 м от земли) мерной вилкой [2], возраст деревьев – с помощью бурава. Обилие видов оценивали по шкале Браун-Бланке, в лаборатории проводили обработку геоботанических описаний посредством программы EcoScaleWin [3, 4]. Виды растений идентифицировали с помощью определителя П. Ф. Маевского [5]. Степень сходства сообществ оценивали с помощью индекса видового сходства Жаккара [6].

За время исследования выявлено 39 видов растений из 37 родов и 22 семейств (табл. 1).

Таблица 1

Состав выявленных видов растений в Аганинской дубраве

Семейство	Вид
Калиновые (Viburnaceae)	<i>Viburnum opulus</i> L.
Астровые (Asteraceae)	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.
Бальзаминовые (Balsaminaceae)	<i>Impatiens parviflora</i> DC.
Бобовые (Fabaceae)	<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.
	<i>Trifolium pratense</i> L.
	<i>Vicia cracca</i> L.
Буковые (Fagaceae)	<i>Quercus robur</i> L.
Гвоздичные (Caryophyllaceae)	<i>Dianthus superbus</i> L.
	<i>Stellaria holostea</i> L.
Жимолостные (Caprifoliaceae)	<i>Lonicera xylosteum</i> L.
Розовые (Rosaceae)	<i>Amelanchier ovalis</i> Medikus
	<i>Fragaria vesca</i> L.
	<i>Geum rivale</i> L.
	<i>Padus avium</i> Mill.
	<i>Rosa canina</i> L.
	<i>Rubus idaeus</i> L.
	<i>Sorbus aucuparia</i> L.
Злаковые (Poaceae)	<i>Dactylis glomerata</i> L.
	<i>Elymus caninus</i> L.
	<i>Phleum pratense</i> L.
	<i>Poa pratensis</i> L.
Зонтичные (Apiaceae)	<i>Aegopodium podagraria</i> L.
	<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.
Ивовые (Salicaceae)	<i>Populus tremula</i> L.
Кипрейные (Onagraceae)	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.
Кирказоновые (Aristolochiaceae)	<i>Asarum europaeum</i> L.
Крапивные (Urticaceae)	<i>Urtica dioica</i> L.
Ластовневые (Asclepiadaceae)	<i>Vincetoxicum hirundinaria</i> Medikus
Мареновые (Rubiaceae)	<i>Galium mollugo</i> L.
	<i>Galium palustre</i> L.
Липовые (Tiliaceae)	<i>Tilia cordata</i> Mill.
Норичниковые (Scrophulariaceae)	<i>Scrophularia nodosa</i> L.
	<i>Veronica chamaedrys</i> L.
	<i>Veronica longifolia</i> L.
Подорожниковые (Plantaginaceae)	<i>Plantago major</i> L.
Ситниковые (Juncaceae)	<i>Juncus effusus</i> L.
Ландышевые (Convallariaceae)	<i>Convallaria majalis</i> L.
	<i>Polygonatum verticillatum</i> (L.) All.
Щитовниковые (Dryopteridaceae)	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott

При исследовании флористического состава площадок установлено, что он в значительной степени однороден.

Обилие различных видов растений по шкале Браун-Бланке на площадках неодинаково (рис. 1). Это зависит от различных факторов: климатических, почвенных, а также от взаимодействия растений друг с другом. Разные виды могут быть адаптированы к разным условиям среды. Почвенные усло-

вия, в свою очередь, играют важную роль в разнообразии видов, особенно состав и плодородие. Следует также учитывать конкуренцию между растениями за важные ресурсы (прежде всего воду и свет), что ведет к снижению обилия того или иного вида. Заметно, что имеется большое количество видов на площадках, но они покрывают небольшую площадь, или находятся разрежено друг от друга. В основном травянистый ярус составляют теневыносливые растения, конкурирующие между собой, поэтому это еще один из факторов, который влияет на обилие.

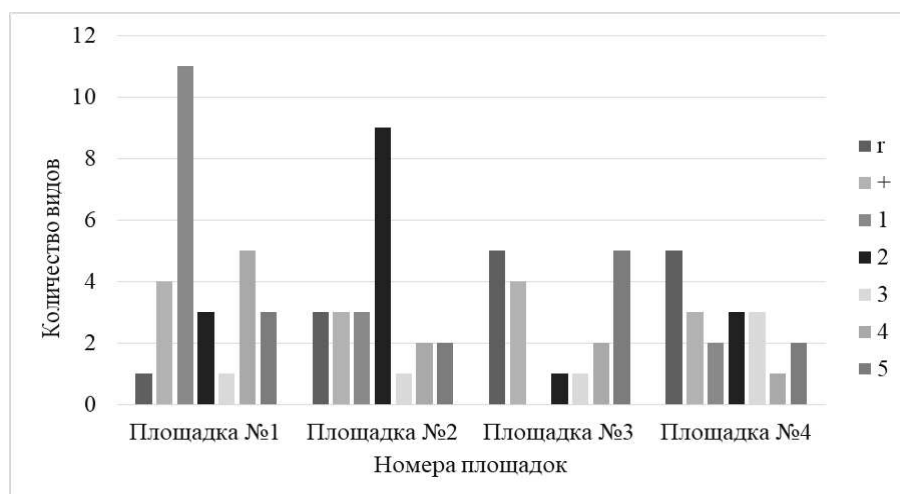


Рис. 1. Обилие площадок по шкале Браун-Бланке

При экологической оценке по амплитудным шкалам Д. Н. Цыганова можно видеть, что для всех сообществ (дубняка липового и дубняка осинового) значения находятся примерно в одинаковых пределах. Для всех площадок характерны бедность почв, сухолесолуговая увлажненность, слабокислые почвы. Растения произрастают в полуоткрытых лесах, из-за чего травянистый ярус находится в затенении. Данные сообщества формируются в условиях мягких или умеренных зим (рис. 2).

По амплитудным шкалам Л. Г. Раменского отмечено большое сходство условий обитания. Почвы относятся к влажнолуговому типу, на которые оказывает слабое влияние выпас и сенокосение. Уровень увлажнения находится в умеренных пределах.

Почва площадок № 1, № 2 и № 3 богата различными минеральными веществами, площадки № 4 характеризуется небогатой (мезотрофной) (рис. 3).

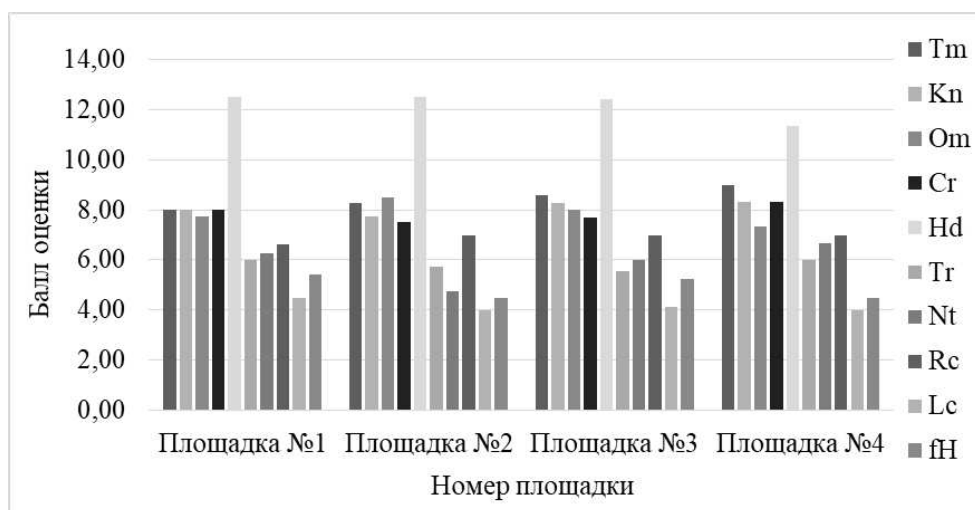


Рис. 2. Оценка экологических условий по амплитудным шкалам Д. Н. Цыганова. Шкалы: Tm – термоклиматическая; Kn – континентальности климата; Om – омброклиматическая; Cr – криоклиматическая; Hd – увлажнения почв; Tr – солевого режима почв; Nt – богатства почв азотом; Rc – кислотности почв; Lc – освещенности-затенения; fH – переменности увлажнения

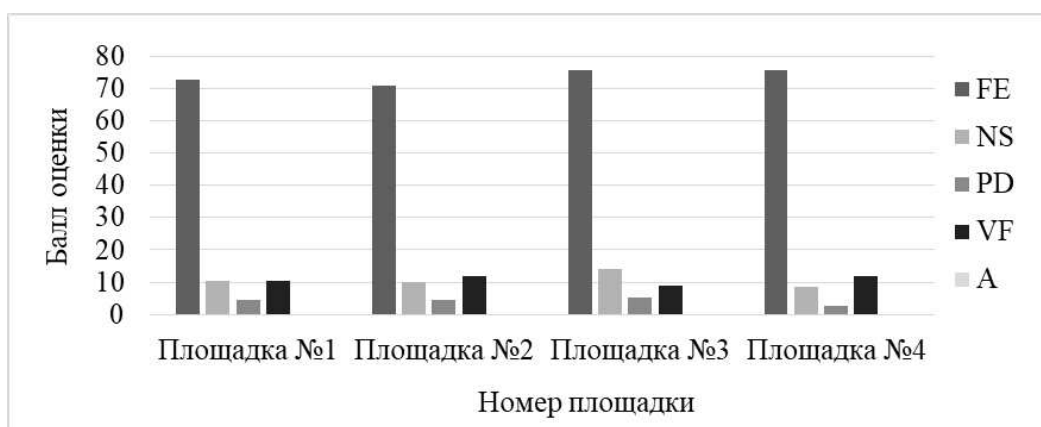


Рис. 3. Оценка экологических условий по амплитудным шкалам Л. Г. Раменского. Шкалы: FE – увлажнения почвы; NS – богатства и засоленности почвы; PD – пастбищной дигрессии; VF – переменности увлажнения; A – аллювиальности

В соответствии с точечными шкалами Э. Ландольта изученные сообщества можно отнести к умеренно светолюбивым. Они произрастают на умеренно сухих или сырых почвах, слабокислых (кроме площадки № 2, у которой слабощелочная почва), умеренно бедных, тонкопесчаных, пылеватых, вентилируемых почвах. При этом они богаты гумусом, за исключением площадки № 2, для которой характерно среднее содержание гумуса. По отношению к свету растения полутеневые, кроме площадки № 4, которая содержит тенелюбивые виды (рис. 4).

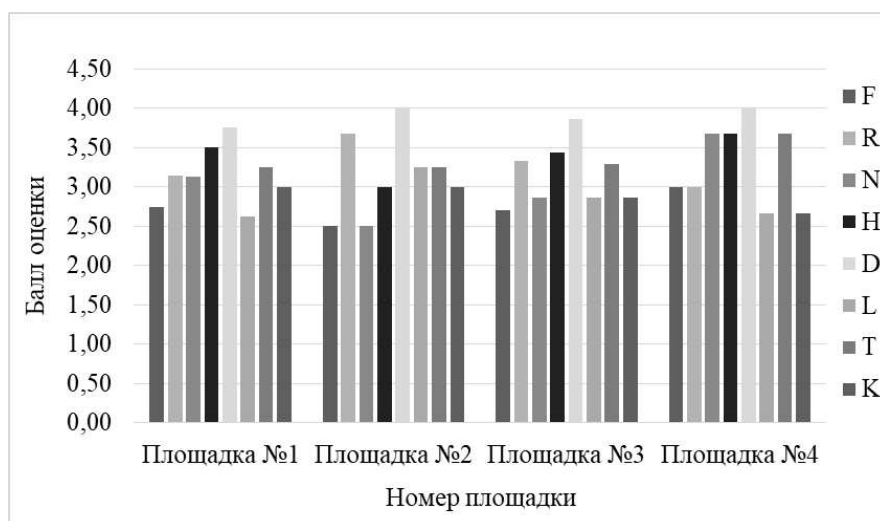


Рис. 4. Оценка экологических условий по точечным шкалам Э. Ландольта. Шкалы: F – увлажнения; R – кислотности почвы; N – богатства почвы минеральным питанием; H – гумусированности почвы; D – гранулометрического состава или дефицита аэрации; L – светолюбия; T – температурная; K – континентальности

Экологические условия, оцененные по точечным шкалам Г. Элленберга, имеют значительное сходство. Виды, произрастающие в этих сообществах, полутеневые, обитают на нейтральных свежих почвах, в условиях умеренно теплого или теплого климата. Однако богатство почв для каждого сообщества различно: для площадки № 1 характерно среднее или большое содержание минерального азота, для площадки № 2 – бедное или среднее содержание азота, для площадки № 3 – среднее или высокое содержание минерального азота, а для № 4 – высокое содержание азота (рис. 5).

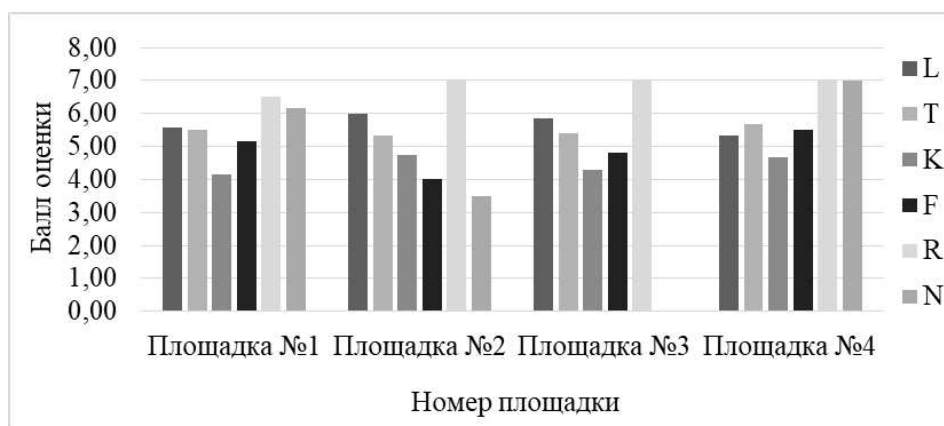


Рис. 5. Оценка экологических условий по точечным шкалам Г. Элленберга. Шкалы: L – освещенности; T – температурная; KF – увлажнения (влажности) почвы; R – кислотности почвы; N – богатства почвы минеральным азотом

Оценка флористического состава дубняка липового (площадка № 1) и дубняка осинового (площадки № 2, № 3, № 4) посредством коэффициента ви-

догового сходства Жаккара показала, что флористический состав сообществ во многом различен. Так низкий коэффициент Жаккара имеют площадки № 1 и № 3 (0,30), № 1 и № 4 (0,34) – это может быть связано с тем, что состав растений эдификаторов различный. Именно из-за этой разницы формируются различные микроклиматические условия. Значение коэффициента Жаккара для площадок № 1 и № 2 равно 0,54, что свидетельствует об относительно сходном видовом составе (табл. 6). Это может быть связано с тем, что осина не выходит в ярус А1 и поэтому не проявляет свои эдификаторные свойства в полной мере.

Таблица 6

Коэффициент видового сходства Жаккара

№ площадки	Площадка № 2	Площадка № 3	Площадка № 4
Площадка № 1	0,54	0,30	0,34
Площадка № 2		1,00	1,00
Площадка № 3			1,00

Таким образом, экологические условия площадок во многом сходны по показателям амплитудных и точечных шкал. Несмотря на это, имеются различия по значению коэффициента Жаккара, что связано с влиянием растений эдификаторов.

Библиографический список

1. Хорошев А. В., Немчинова А. В., Авданин В. О. Ландшафты и экологическая сеть Костромской области. Кострома : КГУ имени Н. А. Некрасова, 2013. 428 с.
2. Методы полевых экологических исследований : учебное пособие / О. Н. Артаев, Д. И. Башмаков, О. В. Безина, С. Ю. Большаков. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. 412 с.
3. Зубкова Е. В. Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с помощью программы EcoScailWin. Йошкар-Ола, 2008. 96 с.
4. Braun-Blanquet J. Plant Sociology. New York : McGraw-Hill Book Company, 1932. 439 p.
5. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2014. 635 с.
6. Jaccard P. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques regions voisines // Bull. Soc. Vaudoise sci. Natur. 1901. Vol. 37. Bd. 140. P. 241–272.

ЗАПАС УГЛЕРОДА В НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЕ НИЗИННОГО БОЛОТА В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

Т. А. Пристова, М. Н. Мигловец, Н. Н. Гончарова, С. В. Загирова
Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, *pristova@ib.komisc.ru*

Представлены данные о запасах углерода в фитомассе низинного болота среднетаёжной подзоны. Установлено, что в надземных органах растений аккумулируется 1015–3549 г/м² органического вещества и 459–1677 г/м² углерода. Вклад древесного яруса в депонирование углерода составляет 54–79%.

Ключевые слова: надземные органы, низинное болото, органическое вещество, сообщество, фитомасса.

В северном полушарии болота характеризуются значительными запасами углерода органического вещества [1]. Древесные растения являются неотъемлемой частью болот [2–4] и характеризуются большим возрастным диапазоном [5]. Вклад древесной растительности в депонирование углерода и накопление органического вещества на болотах может быть выше, чем растений напочвенного покрова.

На территории Республики Коми низинные болота встречаются во всех природных зонах и представлены как небольшими по площади массивами, так и крупными системами площадью несколько тыс. га. Цель исследования – оценка запасов углерода органического вещества в надземной фитомассе низинного болота средней тайги.

Объектом исследования выбрано низинное болото напорного питания (ключевое болото), расположенное в 3–3,5 км к юго-востоку от п. Краснозатонский МО ГО «Сыктывкар» в подзоне средней тайги Республики Коми (61°40'07" с. ш., 51°02'59" в. д.). Значительную часть болота занимают облесенные сообщества. В наиболее обводненных частях болотного массива, приуроченных к открытым участкам болота, распространены безлесные вахтовые и осоково-вахтовые сообщества. Древесный ярус образован *Betula pubescens* с незначительной примесью *Picea obovata* и *Pinus sylvestris*, сомкнутость древостоя 0,1–0,3. Высота деревьев 3–8 м, с отдельными особями до 10 м. Возраст деревьев не превышает 80 лет. Обилён березовый и еловый подрост. В подлеске отмечены *Sorbus aucuparia*, *Frangula alnus*, *Juniperus communis* и *Salix phylicifolia*. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Menyanthes trifoliata*, *Thelypteris palustris*, осоки (*Carex appropinquata*, *C. caespitosa*, *Carex lasiocarpa*), местами *Phragmites australis*. В большинстве сообществ произрастают *Comarum palustre*, *Carex rostrata*, *C. paupercula*, *Equisetum fluviatile*, *Rumex acetosa*, *Bistorta major*, *Eriophorum vaginatum*, *Naumburgia thyrsiflora*,

Dactylorhiza traunsteineri, *Dactylorhiza incarnata*, *Galium palustre*, *G. uliginosum*, *Drosera rotundifolia*, *Poa palustris*, *Epilobium palustre*, *Pyrola rotundifolia*, реже встречаются – *Filipendula ulmaria*, *Stellaria crassifolia*, *Platanthera bifolia*, *Listera ovata*, *Saxifraga hirculus*, *Luzula pilosa* и др. Из кустарничков во всех сообществах отмечен *Oxycoccus palustris*, единично встречается *Vaccinium vitis-idaea* на приствольных кочках. Моховой покров сплошной или разреженный, в большинстве сообществ мозаичный и образован смесью сфагновых и гипновых мхов. Доминантами и содоминантами сообществ являются *Sphagnum warnstorffii*, *Plagiomnium ellipticum*, *Calliergon giganteum* и *Climacium dendroides*. В небольшом количестве отмечены *Sphagnum teres*, *Straminergon stramineum*, *Calliergonella cuspidate*, печеночники и др. К повышению микрорельефа приурочены *Sphagnum angustifolium*, *S. divinum*, виды рода *Dicranum*, *Pleurozium schreberi*, *Aulacomnium palustre*.

Исследования проводили в 2017–2023 гг. В каждом растительном сообществе заложены учетные площадки (УП), на которых проведено геоботаническое описание согласно общепринятой методике. Номенклатура приводится по World Flora Online (2023). На каждой УП проведен сплошной пере-чет деревьев, кустарников, подроста и сухостоя. Пере-чет проводили по общепринятой в лесной таксации методике. Учет численности и таксационных показателей древесных растений выполнен на 14 круговых УП размером 300 м², заложенных в трех облесенных растительных сообществах.

Для определения надземной фитомассы деревьев и кустарников применяли метод модельных деревьев [6], всего отобрано 22 модельных дерева. Запас органического вещества в растениях травяно-кустарничкового и мохового ярусов определяли в четырех болотных сообществах: 1) березово-травяно-сфагновом; 2) березово-вахтово-осоково-гипновом; 3) вахтовом; 4) березово-тростниково-разнотравно-сфагновом. Учет массы надземных органов растений напочвенного покрова проводили методом укоса, с помощью шаблона площадью 0,07 м² в 3-кратной повторности.

Для определения запасов углерода использованы имеющиеся в литературе данные по концентрации углерода в древесных растениях таежных лесов и в болотных растениях Республики Коми [1, 7–10].

Надземная фитомасса исследуемого низинного болота составила 1015–3549 г/м². Древесные растения распределены на территории болота неравномерно и на облесенной части их масса варьировала от 759 до 2763 г/м². Наиболее высоким запасом надземной массы древесных растений отличались березово-вахтово-осоково-гипновое сообщество, более низким – березово-травянисто-сфагновое. Полученные результаты близки к значениям, полученным в среднетаежных заболоченных осоково-сфагновых березняках Карелии – 2300–2600 г/м² [11] и олиготрофных и мезотрофных болотах Сибири – 239–2140 г/м² [2, 4].

Наибольший запас надземной фитомассы у березы, наименьший – у ели. Низкий запас фитомассы ели обусловлен небольшой численностью и угнетенным состоянием деревьев. Вклад кустарников в общий запас органи-

ческой массы, аккумулируемой древесной растительностью исследуемого болота, незначителен, и не превышал $0,65 \text{ г/м}^2$. В целом, доля участия березы в накоплении надземной фитомассы на исследуемом болоте варьировал от 46 до 99%, сосны – от 1 до 50, ели – от 1 до 23, кустарников – от 0 до 1%. Вклад древесины в накопление фитомассы березы, произрастающей на болоте, составлял в среднем 58%, листьев – 9, ветвей – 18, коры – 15%.

Для обводненных вахтовых сообществ масса надземных органов растений напочвенного покрова составила 1015 г/м^2 , в ней преобладали травянистые растения (68%), прежде всего осоки. Надземная фитомасса напочвенного покрова березово-травяно-сфагнового сообщества составила 725 г/м^2 , при этом доля мхов достигала 78%. В формировании фитомассы напочвенного покрова участвовал *Oxycoccus palustris* (7%), что характерно только для этого сообщества. Фитомасса надземной части растений травяно-кустарничкового и мохового ярусов березово-вахтово-осоково-гипновых сообществ составила 786 г/м^2 и определялась преимущественно травами (65%) и мхами (26%). Из травянистых растений в фитомассе напочвенного покрова преобладали осоки (38%) и вахта трехлистная (27%). Суммарная масса хвощей и папоротников не превышает 1% от общей массы.

Березово-тростниково-разнотравно-сфагновые сообщества распределены по всей территории исследованного болота и в совокупности занимают значительные площади. Характерной чертой данных сообществ является доминирование тростника (*Phragmites australis*) в фитомассе напочвенного покрова (76%). Мхи составляли около 10% фитомассы. Вероятно, высокие стебли и мощная корневая система тростника создает неблагоприятные условия для роста и накопления органического вещества другими видами болотных растений в течение короткого периода вегетации.

Таким образом, на исследуемом болоте запас надземной фитомассы растений напочвенного покрова в сообществах возрастает в следующем ряду: березово-тростниково-разнотравно-сфагновые (691 г/м^2) – березово-травяно-сфагновые (725 г/м^2) – березово-вахтово-осоково-гипновые (786 г/м^2) – вахтовые (1015 г/м^2). Для болот Финляндии, Швеции и Канады значения надземной фитомассы несколько ниже – $141\text{--}543 \text{ г/м}^2$ [3]. Близкие к полученным данным значения фитомассы напочвенного покрова приводятся для олиготрофных ($340\text{--}733 \text{ г/м}^2$) и мезоолиготрофных болот подзоны средней тайги Республики Коми ($582\text{--}1016 \text{ г/м}^2$) [1].

В надземной фитомассе исследованного низинного болота аккумулируется углерода от 459 до 1677 г/м^2 (рис.). Для сообществ, в которых присутствуют древесные растения, запасы углерода выше, что обусловлено высоким уровнем аккумуляции углерода в надземных органах деревьев и кустарников. Участие древесных растений в накоплении углерода довольно существенно и составляет от 54 до 79% от общей надземной фитомассы болота (рис.). Древесные растения, в зависимости от их количества и типа сообщества, аккумулируют углерода от 384 до 1677 г/м^2 . Более низкие запасы углерода в древесных растениях приводятся для верховых болот Западной Сибири –

165–532 гС/м² [12]. Принимая во внимание относительно равномерное соотношение площади облесенных и необлесенных участков на исследованном болоте, среднее значение запасов углерода в надземной фитомассе составляет 787 ± 272 г/м².

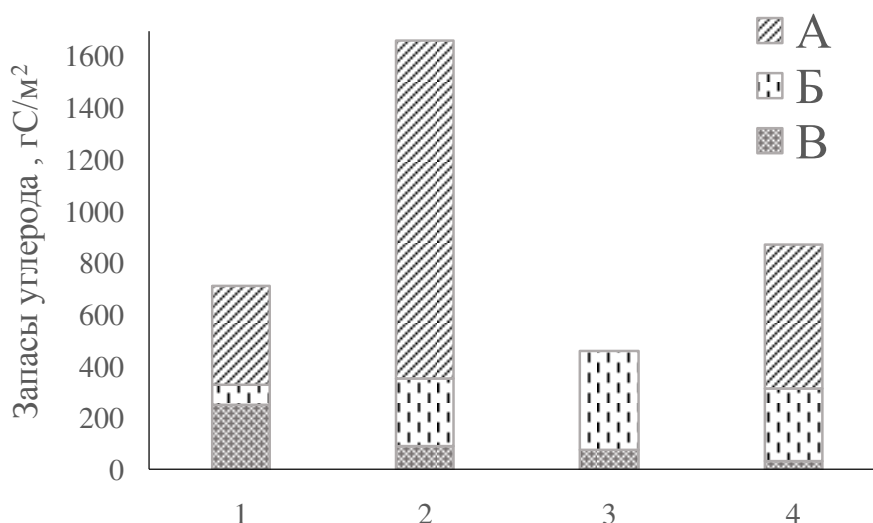


Рис. Запасы углерода в фитомассе исследуемых болотных сообществ: 1 – березово-травяно-сфагнутое; 2 – березово-вахтово-осоково-гипновое; 3 – вахтовое; 4 – березово-тростниково-разнотравно-сфагнутое, в древесном (А), травяно-кустарничковом (Б) и моховом (В) ярусах

Таким образом, в надземной фитомассе низинного болота подзоны средней тайги Республики Коми аккумулируется 1015–3549 г/м² органического вещества и 459–1677 г/м² углерода. Запасы фитомассы и углерода определяются структурой растительного покрова, видовым составом растений, их численностью, таксационными показателями древесных растений. На облесенных участках участие древесного яруса в запасах органического вещества и углерода составляет 54–79%. В травяно-кустарничковом и моховом ярусах исследуемого болота, в зависимости от типа сообщества, аккумулируется от 10 до 90% углерода. Полученные результаты позволяют дать оценку роли низинных болот в углеродном цикле болот средней тайги Республики Коми.

Библиографический список

1. Углерод в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых территорий Республики Коми. Сыктывкар, 2014. 202 с.
2. Копотева Т. А., Косых Н. П. Сравнительная оценка структуры фитомассы и продуктивности мезотрофных кустарничково-сфагновых болот зоны тайги // Сибирский экологический журнал. 2011. № 2. С. 301–307.
3. Abundance and composition of plant biomass as potential controls for mire net ecosystem CO₂ exchange / A. M. Laine, J. Bubier, T. Riutta, M. B. Nilsson, T. R. Moore, H. Vasander, E. S. Tuittila // Botany. 2012. Vol. 90. No. 1. С. 63–74.
4. Коронатова Н. Г., Косых Н. П. Продуктивность древесного яруса на верховых болотах в таежной зоне Западной Сибири // Лесоведение. 2022. № 4. С. 432–448.

5. Сафин М. Г. Лесорастительные условия и фитоценозы сфагновых болот Марийского поlessя : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2011. 22 с.
6. Усольцев В. А., Залесов С. В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. 147 с.
7. Бобкова К. С., Тужилкина В. В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–74.
8. Захожий И. Г., Табаленкова Г. Н., Маслова С. П. Компонентный состав и урожайность *Cotarnum palustris* (Rosaceae) в условиях Республики Коми // Растительные ресурсы. 2012. Т. 48. № 1. С. 71–78.
9. Продуктивность и физиолого-биохимические свойства *Menyanthes trifoliata* в условиях среднетаежной подзоны Республики Коми / И. Г. Захожий, С. П. Маслова, Г. Н. Табаленкова, О. В. Дымова // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55. № 2. С. 246–258.
10. Пристова Т. А. Содержание углерода в растениях среднетаежных листовых фитоценозов Республики Коми // Принципы экологии. 2022. № 3. С. 43–49.
11. Медведева В. М., Егорова В. М., Антипин В. К. Биологический круговорот азота и зольных элементов в некоторых типах заболоченных лесов и болот // Стационарное изучение заболоченных лесов и болот в связи с мелиорацией. Петрозаводск : Карел. фил. АН СССР, 1977. С. 123–147.
12. Коронатова Н. Г. Запас углерода древесного яруса верхового болота в Западной Сибири // Научные основы устойчивого управления лесами : материалы Всерос. конф. с междунар. участием. М. : ЦЭПЛ, 2022. С. 230–232.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В ТЫСЯЧЕЛИСТНИКЕ ОБЫКНОВЕННОМ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕМ В РАЗНЫХ БИОТОПАХ ЩЕКИНСКОГО РАЙОНА ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. М. Полякова, А. В. Хапкина, Е. А. Ягольник
Тулский государственный университет, 89065309753a@gmail.com

В статье приведена оценка состояния разных биотопов Щекинского района Тульской области по накоплению вторичных метаболитов в тысячелистнике обыкновенном (*Achillea millefolium* L.). Накопление вторичных метаболитов в лекарственном сырье этого вида свидетельствует об экологической обстановке местообитаний растения.

Ключевые слова: тысячелистник обыкновенный, биоиндикация, вторичные метаболиты.

Обмен веществ растений – это совокупность всех изменений и всех видов превращений веществ и энергии в растениях, который обеспечивает их развитие, жизнедеятельность и самовоспроизведение, а также связывает с окружающей средой и адаптирует к изменениям внешних условий окружающей среды [1]. Вещества, которые подвергаются в процессе обмена веществ химическим превращениям, называются метаболитами. Для растений характерны первичные и вторичные метаболиты. Первичные метаболиты – вещества, присутствующие во всех растительных клетках: к ним относятся белки,

нуклеиновые кислоты, жиры и углевод. Вторичные метаболиты – органические вещества, синтезируемые растениями, но не участвующие в процессах роста и развития: фенольные соединения, дубильные вещества, алкалоиды, витамины и др. [1].

Вторичные метаболиты обладают различными биологическими эффектами, и в большей степени накапливаются в лекарственных растениях, у которых они являются биологически активными веществами (далее БАВ). На биосинтез и накопление вторичных метаболитов влияют факторы окружающей среды [2].

Цель данной работы – оценить качество среды обитания тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), произрастающего в разных биотопах Щекинского района Тульской области.

Образцы тысячелистника собраны на территории следующих участков в Щекинском районе Тульской области: д. Ясная Поляна и в р. п. Первомайский.

Тульская область является промышленно развитым районом Российской Федерации. Щекинский район имеет заводы металлургической промышленности, химической промышленности и крупные предприятия, оказывающие серьезные воздействия на окружающую среду. Основными загрязнителями являются АО «АК Туламашзавод», АО «Тулачермет» и АО «Щекиноазот». Кроме наличия таких предприятий в Тульской области имеются и рекреационные зоны, например, «Первомайский парк» и музей-усадьба «Ясная Поляна», стабильность и сохранение которых играет большое значение для региона с точки зрения экологического состояния.

Тысячелистник обыкновенный – травянистый многолетник. Относится к отделу Magnoliophyta, классу Magnoliopsida, порядку Asterales, семейству Asteraceae, роду *Achillea* [3]. Цветет с конца мая до осени [4].

Из вторичных метаболитов тысячелистника изучали содержание фенольных соединений, дубильных веществ и рутина. Количественное определение вторичных метаболитов проводили в водных вытяжках. Вытяжки готовили из предварительно собранного и высушенного лекарственного растительного сырья *Achillea millefolium*. Сбор надземных органов модельного вида лекарственного растения проводили в период цветения. Сушку осуществляли естественным способом: растения раскладывали тонким слоем на газеты в хорошо проветриваемом помещении [5].

Количественное содержание дубильных веществ и рутина проводили с помощью метода перманганатометрии, количественное содержание фенольных соединений – с помощью спектрофотометрического метода [6]. Данные, полученные в результате исследования, приведены в таблице.

Содержание вторичных метаболитов в тысячелистнике обыкновенном

Растение	Фенольные соединения, мкг/г		Рутин, мг%		Дубильные вещества, %	
	1	2	1	2	1	2
Тысячелистник обыкновенный	0,081	0,111	0,64	0,85	0,4157	1,9399

Примечание: 1 – д. Ясная Поляна; 2 – р. п. Первомайский.

Количественное определение содержания дубильных веществ, фенольных соединений и рутина в сырье тысячелистника показало, что наибольшее содержание выбранных вторичных метаболитов аккумулируется в образцах, собранных в р. п. Первомайский. Это может быть связано с повышенной нагрузкой на антиоксидантную систему растения в связи с повышенной загрязненностью территории.

Библиографический список

1. Обмен веществ [Электронный ресурс]. – URL: <http://dendrology.ru/forest/item/f00/s00/e0000311/index.shtml> (дата обращения: 18.10.23).
2. Ларикова Ю. С., Маликова Н. А. Вторичные метаболиты лекарственных растений // Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования. 2022. № 6. С. 138–139.
3. *Achillea millefolium* L. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.plantarium.ru/page/view/item/319.html> (дата обращения: 18.10.23).
4. Травник. Самый полный справочник лекарственных растений. Описание 300 растений и способы их применения для лечения и профилактики / под ред. А. Подоляка. М. : Изд-во «Эксмо», 2022. 610 с.
5. Тысячелистник обыкновенный. *Achillea millefolium* L (Аналитический обзор) [Электронный ресурс]. – URL: https://provisor.com.ua/archive/2002/N14/art_28.php (дата обращения: 09.03.2023).
6. Ягольник Е. А. Методические указания по выполнению курсовых работ по дисциплине «Введение в биотехнологию» для студентов очно, заочной форм обучения. Тула : Изд-во ТулГУ, 2021. 156 с.

**СОДЕРЖАНИЕ РТУТИ В ЭКОСИСТЕМАХ
ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ
В ПРЕДЕЛАХ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ**

А. Г. Горохова

Артиллерийский инженерный институт, gor_anna78@mail.ru

Одним из важнейших аспектов оценки экологического состояния территории является определение в почве и биологических объектах токсичных элементов. В статье представлены результаты исследования содержания ртути (Hg) в пробах почвы и биоматериала, отобранных на территории Пензенской области, позволяющие более полно оценить экологическую ситуацию этого региона.

Ключевые слова: содержание ртути (Hg), проба почвы, токсичный элемент, биоконцентратор.

Ртуть является одним из важнейших токсичных элементов. Она входит в четверку элементов – As, Cd, Hg, Pb – на которые подлежат исследованию практически все пищевые продукты. Природным источником Hg являются вулканы, которые во время извержений дают примерно половину поступления этого элемента в атмосферу. Вторая половина выбросов Hg имеет антропогенный характер. Основную долю в ней составляют выбросы от сгорания угля, добычи золота, выплавки цветных металлов, производства цемента, утилизации мусора, производства соды и т. п. [1]. В связи с этим одним из важнейших аспектов оценки экологического состояния территории является определение содержания ртути в почве и биологических объектах [2, 3]. Хотя в технологии уничтожения химических боеприпасов Hg непосредственно не присутствовала, содержащие ее отходы (приборы, утратившие потребительские свойства, – ртутные лампы, термометры и т. п.) на предприятии имеются. Этим определяется актуальность выбранного направления исследований.

Целью настоящей работы было изучение содержания Hg в почве и биологических объектах в окрестностях станции Леонидовка Пензенской области.

Отбор проб почвы и биоматериала производили на территории Пензенского района, а для сравнения – в лесных массивах Шемышейского и Городищенского районов Пензенской области, удаленных от объекта не менее, чем на 50 км. Всего было проанализировано 30 образцов серой лесной почвы с учетом почвенных разновидностей, 18 образцов древесных растений и 45 образцов грибов.

Анализ образцов проводили методом атомно-адсорбционной спектроскопии на атомно-адсорбционном спектрометре МГА-915 МД [4–6].

Для определения характера накопления Hg использовался такой показатель как коэффициент накопления (КН), представляющий собой отношение содержания химического элемента в биологическом объекте к таковому в питающем субстрате. Если КН оказывается ниже 1, то объект не является биоконцентратором изучаемого элемента, если выше 1 – биоаккумуляция имеет место.

Территория зоны защитных мероприятий (ЗЗМ) представляет собой находящуюся под лесной растительностью площадь. Леса представлены преимущественно лиственными насаждениями различного возраста с преобладанием березы повислой и липы сердцевидной, с участием дуба черешчатого, осины и сосны. В ЗЗМ объекта уничтожения химического оружия (УХО) преобладают различные подтипы серых лесных почв, которые отличаются друг от друга по содержанию органического вещества и гранулометрическому составу.

Как показали наши исследования, среднее содержание Hg в серых лесных почвах района исследований составило 0,019 мг/кг, т. е. 0,039 от значе-

ния ПДК, которое составляет 2,1 мг/кг. Сравнение результатов измерений по различным разновидностям рассматриваемых почв, в зависимости от содержания органического вещества и гранулометрического состава, наблюдаемых для мышьяка, свинца и кадмия, выявлено не было [7–9]. Максимальные и минимальные показатели выражаются близкими значениями. Это указывает на то, что распределение содержания Hg в серых лесных почвах имеет достаточно равномерный характер.

Для сравнения содержания Hg в серых лесных почвах с таковым в почвах других административных районов Пензенской области – Пензенского, Городищенского и Шемышейского, удаленных от объекта УХО – были проведены отбор и анализ проб. Полученные результаты выражались близкими значениями. Минимальный показатель получен для Пензенского района.

Как показали результаты измерений, среднее содержание Hg в древесных растениях составило 0,0334 мг/кг. Это в 1,75 раз выше такового показателя в серых лесных почвах, на которых они произрастали. Однако объяснять этот факт результатом биоаккумуляции из почвы, на наш взгляд, представляется неверным, т. к. основным источником поступления Hg в растения являются атмосферные выпадения. Надземные же части древесных растений максимально контактируют с ними.

Как показал анализ концентрации Hg в различных частях растений, ее содержание выражается разными показателями (табл.). Минимальное содержание зафиксировано в листьях. Это объясняется тем, что они живут недолго и ежегодно возобновляются, т. е. в них находится столько Hg, сколько выпало за сезон. Количество Hg в атмосферных выпадениях не является постоянным. Оно зависит от вулканической деятельности, которая является периодически действующим фактором. В период извержений содержание Hg в атмосферных выпадениях и, соответственно, в листьях, сорбирующих их, будет возрастать. Однако проявляться это будет только при соответствующем направлении ветров. Антропогенное загрязнение будет оказывать влияние локально, т. е. в непосредственной близости от его источников. Поэтому при нормальной экологической ситуации наименьшее содержание Hg в листьях оказывается вполне объяснимым. Периодическое повышение его будет определяться указанными выше факторами.

Максимальное содержание Hg определено в коре. Она, как и листья, соприкасается с атмосферными выпадениями, однако в отличие от них не возобновляется ежегодно и аккумулирует в себе Hg и другие поллютанты в течение многолетнего периода. В древесине стволов содержание изучаемого элемента было несколько ниже, чем в коре, хотя выражалось близкими значениями. Вероятно, Hg проникает в древесину ствола путем диффузии. Это подтверждается тем фактом, что древесина корней содержит ее в значительно меньших количествах.

Как показывает сравнение данных по различным древесным породам, отдельные их виды накапливают Hg в разных количествах. Максимальное

суммарное содержание изучаемого элемента характерно для дуба, минимальное – для сосны. Береза занимает среднее положение.

Определенные видовые отличия имеются и в характере накопления Hg в отдельных частях растений. В листьях дуба и березы содержание Hg выражается близкими значениями. В хвое ее содержится несколько меньше. Вероятно, это связано с тем, что листья лиственных деревьев, поглощают больше атмосферной влаги, т. к. имеют большую сорбционную поверхность, по сравнению с хвоей.

Таблица

Содержание Hg в древесных растениях, мг/кг

Вид дерева	Части растения				средний показатель
	лист	кора	древесина		
			стволов	корней	
Береза повислая	0,0140± 0,0042	0,0225± 0,0070	0,0125± 0,0040	0,0012± 0,0003	0,0126
Дуб черешчатый	0,0135± 0,0040	0,0240± 0,0070	0,0125± 0,0040	0,0014± 0,0004	0,0129
Сосна обыкновенная	0,0100± 0,0030	0,0125± 0,0040	0,0084± 0,0030	0,0009± 0,0003	0,0079
Средний показатель	0,0125	0,0200	0,0111	0,0012	0,0112

Минимальное содержание Hg в коре зафиксировано для сосны, максимальное – для дуба. Береза занимает среднее положение. Это может быть связано с тем, что кора дуба, содержащая большое количество отмерших паренхиматозных клеток феллодермы, обладает большей поглощающей способностью по сравнению с корой березы и сосны, в составе которых больше феллемы или пробки, обладающей гидрофобными свойствами. Кроме того, особенностью покровной ткани сосны является то, что ее верхняя часть в процессе роста дерева частично слущивается, и это способствует потере части накопившихся в ней веществ.

Минимальное содержание Hg в древесине стволов также было отмечено у сосны. У дуба и березы оно оказалось одинаковым, несмотря на различия ее содержания в коре. Вероятно, это связано с тем, что в твердую древесину дуба Hg диффундирует из коры менее активно, чем в мягкую древесину березы. Распределение концентраций Hg в древесине корней различных древесных пород выражается близкими значениями. Однако минимальное содержание было также отмечено для сосны.

Содержание Hg в исследованных образцах съедобных грибов оказалось в 3,5 раза выше, чем в почве. Вегетативный мицелий, на котором образуются их плодовые тела, находится внутри питающего субстрата и не контактирует непосредственно с атмосферными выпадениями. Поэтому грибы оказываются концентраторами Hg. Однако все полученные значения находятся в пределах ПДК для съедобных грибов [5] и сопоставимы с данными других исследователей.

В связи с тем, что в качестве питающего субстрата грибы используют не только почву, но и другие органические материалы, они разделяются на ряд трофических групп:

1) симбиотрофы – развиваются в верхнем слое почвы и получают органические вещества от древесных растений через определенную симбиотическую структуру микоризы;

2) ксилотрофы – развиваются на отмершей древесине и питаются за счет содержащихся в ней лигнина и целлюлозы;

3) напочвенные сапротрофы – используют органические вещества лесной подстилки и верхнего слоя почвы.

В накоплении Hg грибами различных трофических групп проявляются определенные особенности. Наиболее высокое содержание Hg было зафиксировано в древесных субстратах, на которых развиваются ксилотрофы. Однако среднее содержание изучаемого элемента в их плодовых телах было минимальным, т. е. КН у всех изученных видов оказались менее 1. У симбиотрофов и напочвенных сапротрофов они были значительно выше.

Среди изученных видов грибов, используемых в пищу, наиболее высокие КН (более 3,5) имели: зонтик высокий, подгруздок белый, волнушка розовая и шампиньон полевой. Однако все значения находились в пределах ПДК. Это указывает на то, что при локальном загрязнении почв Hg плодовые тела этих видов, в первую очередь, могут представлять потенциальную опасность для здоровья.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Среднее содержание Hg в серых лесных почвах района исследований очень низкое и составляет 0,019 мг/кг, т.е. 0,039 от значения ПДК.

2. Зависимости концентраций Hg от содержания органического вещества и гранулометрического состава различных разновидностей серых лесных почв выявлено не было, т. е. распределение содержания Hg в серых лесных почвах имеет достаточно равномерный характер.

3. Среднее содержание Hg в древесных растениях составило 0,0334 мг/кг. Это в 1,75 раза выше, чем таковое в серых лесных почвах, на которых они произрастают. Однако объяснять этот факт результатом биоаккумуляции из почвы, на наш взгляд, является неверным, т. к. основным источником поступления Hg в растения являются атмосферные выпадения, с которыми контактируют надземные части древесных растений.

4. Содержание Hg в исследованных образцах съедобных грибов в 3,5 раза выше, чем в почве. Вегетативный мицелий, на котором образуются их плодовые тела, находится внутри питающего субстрата и не контактирует непосредственно с атмосферными выпадениями, т.е. грибы оказываются концентраторами Hg.

5. Грибы различных трофических групп накапливают Hg не одинаково. Минимальные КН имеют ксилотрофы. У симбиотрофов и напочвенных сапротрофов они значительно выше.

Библиографический список

1. Химическая энциклопедия: в 5 т. / под ред. Н. С. Зефирова. М. : Советская энциклопедия, 1995. Т. 4. С. 278–639.
2. Ашихмина Т. Я. Научно-методические основы комплексного мониторинга окружающей среды в районе объектов хранения и уничтожения химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 2. С. 23–35.
3. К проблеме биологического поглощения токсичных химических элементов растениями в природных и геотехногенных системах / Г. А. Юргенсон, М. А. Солодухина, А. А. Смирнов и др. // Вестник МАНЭБ. 2009. Т. 14. № 3. С. 110–113.
4. МИ 2740-2002. Рекомендация. ГСИ. Массовая доля общей ртути в пищевых продуктах и продовольственном сырье. Методика выполнения измерений атомно-абсорбционным методом.
5. СанПиН 42-123-4089-86 Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах (утв. Главным санитарным врачом СССР 31.03.1986 № 4089-86). 1986. 17 с.
6. Трахтенберг И. М., Коршун М. Н. Ртуть и ее соединения в окружающей среде (гигиенические и экологические аспекты) / под общ. ред. И. М. Трахтенберга. К. : Выща шк., 1990. 232 с.
7. Горохова А. Г., Иванов А. И., Скобанева О. В. Биоиндикация почв, загрязненных мышьяком и тяжелыми металлами // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2013. № 09 (13). Т. 1. С. 39–47.
8. Горохова А. Г. Распределение тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb) и мышьяка (As) в природных средах и биологических объектах правобережной части водосборной площади Пензенского водохранилища : дис. ... канд. биол. наук. Пенза, 2013. 128 с.
9. Иванов А. И., Костычев А. А. Фоновое содержание некоторых тяжелых металлов в серых лесных почвах // Мониторинг природных экосистем : сборник статей четвертой Всерос. науч.-практ. конф. Пенза, 2010. С. 166–169.

ИЗМЕНЕНИЕ ИНДЕКСА ТОЛЕРАНТНОСТИ ДЕКОРАТИВНЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ИОНАМИ СВИНЦА

О. В. Фрунзе

Донецкий государственный университет, o.frunze@donnu.ru

В статье представлены результаты по исследованию изменения индекса толерантности некоторых видов декоративных травянистых растений в условиях контролируемого загрязнения почвы ионами свинца. Определены наиболее устойчивые к загрязнению почвы виды растений, которые можно рекомендовать для озеленения техногенного региона и использовать в технологии фиторемедиации почв.

Ключевые слова: индекс толерантности, декоративные травянистые растения, свинец.

В индустриально развитых центрах Донецкого региона большинство промышленных комплексов размещены в черте городов и стали неотъемлемой частью городской среды. Из-за высокой токсичности тяжелых металлов и

их способности образовывать стойкие комплексы с органическими структурами живых систем, загрязнение почв металлами стало одной из серьезных экологических проблем [1]. Свинец является одним из распространенных тяжелых металлов в окружающей среде. Он поступает в биосферу благодаря деятельности промышленных предприятий черной и цветной металлургии, работе автотранспорта, сжиганию отходов, при производстве свинцовых аккумуляторов, стекла, керамики, красок и других химических соединений. Загрязнение окружающей среды свинцом является серьезной проблемой, которая может иметь негативные последствия для здоровья человека и экосистемы в целом [2, 3].

Свинец оказывает негативное влияние на рост и развитие растений: ионы свинца ингибируют поглощение проростками других важных элементов питания, таких как кальций, магний и железо, что может привести к замедлению роста и развития, к снижению урожайности и качества продукции растительного происхождения [4]. Однако, существуют некоторые виды растений, которые могут более эффективно выдерживать токсичность свинца. Данные растения могут быть использованы для фиторемедиации загрязненных свинцом почв. Поэтому, целью исследования было изучение изменения индекса толерантности растений в условиях загрязнения почвы ионами свинца.

Как объекты исследования для проведения эксперимента были использованы проростки *Ricinus communis* L., *Brassica napus* L., *Phacelia tanacetifolia* Benth. Влияние ионов свинца на растения исследовали по схеме полного однофакторного пятиуровневого эксперимента. В качестве загрязнителя использовали нитрат свинца по стехиометрическому отношению. Концентрации цинка составляли 0 (контроль), 0,5 ПДК, 1 ПДК, 1,5 ПДК, 2 ПДК. Семена растений проращивали согласно их биологическим особенностям. Выращивание вели на протяжении 30 дней, при продолжительности светового дня 14 часов, при температуре 20–22 °С и влажности почвы около 70% полной влажности. При снятии результатов проростков измеряли длину надземной части, длину корней, сырую и сухую массу. Индекс толерантности Уилкинса для растений определяли на основе сравнения прироста корня растений, выращенных в почве, загрязненной свинцом, к длине корня растений, выращенных на незагрязненной почве:

$$I_t = \frac{I_{me}}{I_c},$$

где I_{me} – прирост корня растений, выращенных в почве, загрязненной тяжелыми металлами; I_c – прирост корня растений, выращенных на незагрязненной почве.

Полученные данные обрабатывали статистически с помощью специально разработанных программ по методу Даннета.

В процессе эволюции растения приобретают те или иные механизмы адаптации к среде обитания, которые ведут к перестройке строения и функций организмов, позволяют им сохранить гомеостаз и гомеорез в ответ на длительное воздействие неблагоприятных факторов окружающей среды [5].

Однако информации об адапционном потенциале декоративных травянистых растений, устойчивости отдельных видов к разным тяжелым металлам крайне мало. Считается, что адаптация растений к действию ионов тяжелых металлов связана с изменениями на уровне физиологических процессов, однако морфометрические показатели признают интегральным показателем адаптации растений к тяжелым металлам. Так, в классическом тесте для характеристики устойчивости к тяжелым металлам Д. Уилкинс использовал соотношение пророста корней растений в опыте и контроле.

Проведенные нами исследования показали, что индекс толерантности изученных видов декоративных травянистых растений в значительной степени зависит от видовой принадлежности растений и концентрации загрязнителя в среде произрастания (табл. 1).

Таблица 1

Влияние загрязнения почвы ионами свинца на индекс толерантности проростков *Ricinus communis*

№ варианта	Индекс толерантности, %		
	M±m	D	D ^D
1	3,32±0,13	–	–
2	3,89±0,15	0,57	0,02
3	3,30±0,65	–0,02	0,02
4	2,98±0,17	–0,34	0,02
5	2,90±0,18	–0,42	0,02

Примечание: D – разница между средними; D^D – допуск Даннета.

Исследования показали, что при внесении в почву 0,5 ПДК свинца (вариант 2) индекс толерантности проростков *Ricinus communis* увеличился на 17,2%. При увеличении концентрации свинца до 1 ПДК (вариант 3), показатель индекса толерантности оставался практически на уровне контроля. При дальнейшем увеличении концентрации свинца до 1,5 ПДК (вариант 4) индекс толерантности растений уменьшился в сравнении с контролем на 10%, а в условиях внесения в почву 2 ПДК свинца (вариант 5) исследованный показатель снизился на 11%.

Экспериментальные данные показали, что ионы цинка не оказывают отрицательного влияния на индекс толерантности проростков *Brassica napus* (табл. 2). Так, в условиях загрязнения почвы 0,5 ПДК свинца (2 вариант) индекс толерантности растений увеличился на 15,2%. Аналогичную картину мы наблюдали и при внесении в почву 1 ПДК ионов свинца – показатель индекса толерантности был больше контрольного показателя на 9,9%.

Таблица 2

**Влияние загрязнения почвы ионами свинца
на индекс толерантности проростков *Brassica napus***

№ варианта	Индекс толерантности, %		
	M±m	D	D ^D
1	18,44±0,15	–	–
2	21,32±0,19	2,88	0,12
3	20,25±0,19	1,81	0,12
4	19,01±0,18	0,57	0,12
5	18,56±0,14	0,12	0,12

Примечание: D – разница между средними; D^D – допуск Даннета.

При внесении в почву 1,5 ПДК свинца индекс толерантности проростков *Brassica napus* превысил контрольные показатели на 3%, а при увеличении концентрации загрязнителя до 2 ПДК, индекс толерантности растений был практически равен показателю растений, выращенных на незагрязненной почве.

Проведенные исследования показали, что наибольшее негативное влияние ионы свинца оказывали на индекс толерантности *Phacelia tanacetifolia* (табл. 3).

Так, при внесении в почву 0,5 ПДК свинца индекс толерантности проростков уменьшился на 9,2%. При дальнейшем увеличении концентрации поллютанта до 1 ПДК (вариант 3) показатель индекса толерантности снизился на 20,1%. В условиях внесения в почву 1,5 ПДК свинца, исследованный показатель проростков *Phacelia tanacetifolia* уменьшился на 24,6%, в сравнении с растениями, выращенными на незагрязненной почве. При увеличении концентрации поллютанта до 2 ПДК показатель индекса толерантности растений снизился на 27%.

Таблица 3

**Влияние загрязнения почвы ионами свинца на индекс толерантности
проростков *Phacelia tanacetifolia***

№ варианта	Индекс толерантности, %		
	M±m	D	D ^D
1	16,75±0,15	–	–
2	15,21±0,17	–0,54	0,13
3	13,30±0,15	–3,45	0,13
4	12,63±0,15	–4,12	0,13
5	12,22±0,12	–4,53	0,13

Примечание: D – разница между средними; D^D – допуск Даннета.

Таким образом, по данным индекса толерантности выделены растения, устойчивые к загрязнению почвы ионами свинца, которые можно рекомендовать для озеленения территорий городской среды – это *Ricinus communis*, *Brassica napus*. У проростков *Phacelia tanacetifolia* отмечен низкий индекс толерантности: данный вид является чувствительным к загрязнению почвы

ионами свинца, он может служить видом-индикатором загрязнения почвы тяжелыми металлами.

Библиографический список

1. Glick B. R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment // *Biotechnology Advances*. 2010. Vol. 21. No. 5. P. 383–393.
2. Давыдова С. Л. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века. М. : РУДН, 2002. 140 с.
3. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск : Наука, 1991. 151 с.
4. Kramer U. Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils // *Current Opinion in Biotechnology*. 2018. Vol. 16. No. 2. P. 133–141.
5. Фрунзе О. В., Конопленко М. Н. Содержание кобальта и марганца в проростках декоративных травянистых растений в условиях контролируемого загрязнения // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. 2018. № 3–4. С. 132–136.

ФИТОМАССА НАДЗЕМНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ КАРЬЕРОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Т. А. Пристова, И. А. Лиханова, А. Л. Федорков

Институт биологии Коми научного центра

Уральского отделения Российской академии наук, pristova@ib.komisc.ru

Представлены данные по запасам фитомассы в искусственных насаждениях сосны обыкновенной и сосны скрученной на нарушенных землях таежной зоны. Показана перспективность использования сосны скрученной в целях рекультивации карьеров на почвах, легких по гранулометрическому составу.

Ключевые слова: тайга, карьеры, лесная рекультивация, восстановление экосистем, фитомасса, сукцессия.

На Севере таежной зоны в связи с активизацией в последние годы промышленного освоения природных ресурсов неуклонно увеличивается площадь нарушенных земель. Процесс естественного восстановления растительности на посттехногенных территориях можно ускорить приемами лесной рекультивации [1–3]. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – порода-пионер, крайне неприхотливая к субстратным условиям, активно используется для лесоразведения на нарушенных землях [4, 5].

Наряду с сосной обыкновенной при рекультивации возможно использование интродуцированной древесной породы – сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl.), характеризующейся быстрым ростом в бореальной зоне северной Европы [6–11].

Для территории России публикаций по систематическому изучению формирования лесных экосистем после лесорекультивационных мероприятий немного [4]. Традиционно лесорекультивационные работы заключаются в по-

садке 1–3-летних сеянцев хвойных пород без использования дополнительных агроприемов.

Цель исследований заключалась в оценке накопления наземной фитомассы в древостое культур сосны обыкновенной и сосны скрученной на начальном этапе сукцессии после проведения лесной рекультивации на карьерах в подзоне средней тайги Республики Коми.

Исследования проводили на территории Республики Коми. Объектами изучения послужили четыре карьера. Технический этап рекультивации территории карьеров «Язель», «Даса», «Важелью», проведенный в 1996–1999 гг., включал планировку поверхности. В 2000–2001 гг. в ходе биологического этапа была произведена посадка 2-летних сеянцев сосны обыкновенной местного происхождения с открытой корневой системой (ОКС), выращенных в Сыктывкарском и Сысольском питомниках. На карьере «Койгородский» в 2004 г. высажены однолетние сеянцы сосны обыкновенной и сосны скрученной с закрытой корневой системой (ЗКС). Карьер «Язель» характеризуется песчаным составом субстрата, «Даса» и «Койгородок» – песчано-супесчаным, «Важелью» – суглинистым, на глубине 60–100 см подстилаемый песками. Субстраты карьеров «Даса» и «Важелью» – карбонатные. Карьер «Язель» создан на месте сосняка лишайникового, карьеры «Даса» и «Койгородский» – сосняков брусничных, карьер «Важелью» – ельника травяно-черничного.

Исследования культур проводили в 2001–2023 гг. Измерение высот и диаметров проведено у доминирующих деревьев, не имеющих каких-либо повреждений. Определена сохранность и густота культур. На каждом объекте проведена оценка массы надземных органов растений напочвенного покрова методом укоса, с помощью шаблона площадью 400 см² в 5–10-кратной повторности. Расчеты запасов фитомассы в исследуемых культурах сосны обыкновенной проведены с использованием аллометрических уравнений Н. А. Бабича и М. Д. Мерзленко (1998) [12]. Для расчета запасов фитомассы в культурах сосны скрученной использованы уравнения Б. Элфинга с соавторами [10].

На исследованных карьерах во втором десятилетии управляемой сукцессии за счет лесной рекультивации сформирован древесный ярус культур из сосны обыкновенной и сосны скрученной, состояние, которого обусловлено субстратными условиями. Средняя высота сосны обыкновенной в исследуемых культурах составляет 6–7 м, диаметр – 6–7 см, исключение составляет карьер «Язель», где эти показатели ниже – 4 м и 4 см соответственно. Высота деревьев сосны обыкновенной в культурах на карьере «Койгородский», созданных посадкой сеянцев с ЗКС сопоставим с карьером «Даса», однако диаметр больше. Последнее, по-видимому, связано с меньшей густотой посадки на карьере «Койгородский». При сравнении культур сосны обыкновенной и интродуцированного вида сосны скрученной выявлено, что сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по выживаемости и скорости роста. В 20-летних культурах на карьере «Койгородский» средняя высота сосны

скрученной – 7 м, диаметр – 10 см, при сохранности – 71%, у сосны обыкновенной показатели ниже – 6 м, 9 см и 65% соответственно. Исследования, проведенные в Фенноскандии и в таежной зоне на севере европейской части России показали, что сосна скрученная превосходит сосну обыкновенную по скорости роста при искусственном выращивании [6, 8, 9, 11], что подтверждают полученные нами результаты.

Фитомасса деревьев на исследуемых культурах, значительно варьирует (табл.). Наименьшие запасы фитомассы посадок сосны обыкновенной зафиксированы на песчаном карьере «Язель», наибольшие – на суглинистом карьере «Важелью». Наблюдения на карьере «Койгородский» показали, что значения данного параметра у культур сосны скрученной выше, чем у сосны обыкновенной. Формирование сосной скрученной древостоев большей фитомассы, по сравнению с сосной обыкновенной, связаны как с её видовыми особенностями, так и характеристиками посадочного материала (использование сеянцев сосны с ЗКС). В фитомассе древостоя максимальная доля приходится на стволовую древесину (около 50–60%). Доля остальных фракций значительно ниже: хвоя составляет около 20% от общей фитомассы, живые ветви и кора – примерно по 10%, сухие ветви – до 5%.

Таблица

Надземная фитомасса культур сосны обыкновенной и сосны скрученной, т/га а.с.в.

Вид	Карьер	Возраст, лет	Хвоя	Живые ветви	Сухие ветви	Древесина	Кора	Итого
Сосна обыкновенная	Язель	23	1,8	0,4	0,3	3,7	1,0	7,2
	Даса	21	4,3	1,2	0,6	9,8	2,1	18,0
		24	5,3	2,7	0,8	14,5	2,6	25,9
	Важелью	21	5,4	2,9	0,8	14,6	2,6	26,3
		24	6,0	3,5	0,9	17,5	2,9	30,8
	Койгородский	20	5,3	3,6	0,8	15,8	2,4	27,9
Сосна скрученная	Койгородский	20	8,8	4,6	2,9	24,2	2,7	43,2

Фитомасса напочвенного покрова карьеров в зависимости от почвенных условий значительно варьирует от 0,3 до 1,5 т/га. На песчаных древнеаллювиальных и песчано–супесчаных флювиогляциальных отложениях преобладают мхи и лишайники (63–91%), на моренных суглинках – травы (99%). Низкая фитомасса мхов на суглинистых отложениях связана в первую очередь с конкурентными взаимоотношениями с травами. Сходные зависимости фитомассы напочвенного покрова от лесорастительных условий отмечены для посадок сосны обыкновенной на вырубках [12].

Темпы формирования древостоя, накопления фитомассы на карьерах после проведения лесорекультивационных работ сопоставимы с данными, полученными другими исследователями при изучении культур сосны обыкновенной на вырубках таежной зоны севера России [12]. Таким образом, суб-

стратные условия карьеров по добыче общераспространенных полезных ископаемых: песка, супесей, суглинков являются достаточно благоприятными для лесовосстановительных процессов.

Установлено, что в биоклиматических условиях тайги Республики Коми процессы формирования древостоев в техногенных ландшафтах (карьерах) детерминированы субстратными условиями. В ряду утяжеления гранулометрического состава почв: древнеаллювиальные пески – древнеаллювиальные пески/супеси – моренные суглинки увеличиваются биометрические показатели и фитомасса деревьев в культурах сосны обыкновенной. На легких по гранулометрическому составу субстратах в фитомассе напочвенного покрова преобладают мхи и лишайники, на суглинках – травы. Выявлены более высокая сохранность и темпы роста интродуцированного вида сосны скрученной по сравнению с сосной обыкновенной на легких по гранулометрическому составу субстратах. Использование сосны скрученной перспективно в целях лесной рекультивации.

Работа выполнена при финансовой поддержке тем госзадания Института биологии Коми научного центра УрО РАН «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов» (122040600023-8) и «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» (№ 122040100031-8).

Библиографический список

1. Showalter J., Burger J., Zipper C. Hardwood seedling growth on different mine spoil types without and with topsoil amendment // *Journal of Environmental Quality*. 2010. Vol. 39. P. 483–491.
2. Restoring forests and associated ecosystem services on Appalachian coal surface mines / C. Zipper, J. Burger, J. Skousen, P. Angel, C. Barton, V. Davis, J. Franklin // *Environmental Management*. 2011. Vol. 47. P. 751–765.
3. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions / S. E. MacDonald, S. M. Landha, J. Skousen, J. Franklin, J. Frouz, S. Hall, D. F. Jacobs, Q. Sylvie // *New Forests*. 2015. Vol. 46. P. 703–732.
4. Формирование лесных сообществ на техногенных землях севера-запада таежной зоны России / Н. Г. Федорец, А. И. Соколов, А. М. Крышень, М. В. Медведева, Е. Э. Костина. Петрозаводск : Карельский НИЦ РАН, 2011. 130 с.
5. Osipenko R. A., Zalesov S. V., Zaripov J. V. Forestry Trend Reclamation of Worked out Clay Quarries Efficiency in the Middle Ural Taiga Forest Region // *Forestry information*. 2022. No. 4. P. 96–102.
6. Survival and early development of Lodgepole pine / M. Varmola, H. Salimen, R. Rikala, M. Kerkela // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2000. No. 15. P. 410–423.
7. Раевский Б. В. Селекция и семеноводство сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl. ex loud. var. *latifolia* englem) на северо-западе таежной зоны России : автореф. дис. ... д-р с.-х. наук. Петрозаводск, 2015. 44 с.
8. Рост и развитие сосны скрученной (*Pinus contorta* Loud. var. *latifolia* S. Wats) в условиях северной тайги / Н. А. Демидова, Т. М. Дуркина, Л. Г. Гоголева, С. А. Демиден-

ко, Ю. С. Быков, А.А.Парамонов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2016. № 2. С. 45–59. doi: 10.21178/2079–6080.2016.2.42

9. Zhigunov A. V., Butenko O. Y. Estimating the growth of 20- to 26-year-old longepole pine plantations in the Leningrad Region of Russia // Folia Forestalia Polonica series A-Forestry. 2019. Vol. 61. No. 1. P. 58–63.

10. Elfving B., Ulvcrona K. A., Egnell G. Biomass equations for lodgepole pine in northern Sweden // Canadian Journal of Forest Research. 2017. Vol. 47. P. 89–96.

11. Fedorkov A., Gutiy L. Performance of lodgepole pine and Scots pine in field trials located in north-west Russia // Silva Fennica. 2017. Vol. 51. No. 1. Article No. 1692. doi: 10.14214/sf.1692

12. Бабич Н.А., Мерзленко М. Д. Биологическая продуктивность лесных культур. Архангельск : Изд-во АГТУ, 1998. 89 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АРБУТИНА В ВОДНЫХ И ВОДНО-СПИРТОВЫХ ЭКСТРАКТАХ ЛИСТЬЕВ И ПЛОДОВ БРУСНИКИ И КИЗИЛА

*Я. И. Зяблицева, М. Д. Головьев, Т. А. Адамович
Вятский государственный университет, ziablitsevaiana@gmail.com*

В данной статье представлены результаты количественного определения арбутина у представителей семейств вересковые – брусника обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – и кизилловые – кизила обыкновенного (*Cornus mas* L.) с использованием различных способов очистки от сопутствующих веществ. Впервые представлены результаты определения арбутина в листьях и плодах кизила обыкновенного.

Ключевые слова: арбутин, брусника обыкновенная, кизил обыкновенный, УФ-спектрофотометрия.

Сегодня жители всего мира все чаще используют лекарственное растительное сырье (ЛРС) в качестве профилактики и лечения болезней. Известно, что природные биологически активные соединения (БАС) обладают рядом явных преимуществ по сравнению с субстанциями химического происхождения, в том числе, оказывают мягкое и эффективное лекарственное воздействие на организм человека с минимальным количеством побочных реакций. В связи с этим, особое значение имеет исследование ЛРС, содержащего комплексы природных БАС с различной фармакологической активностью.

Таковыми препаратами все чаще становятся арбутин-содержащее ЛРС, которое активно используется в медицинской практике для лечения и профилактики воспалительных процессов. Кроме того, экспериментально доказано, что экстракты из растений, содержащих арбутин, в опытах *in vivo* оказывают выраженное антиоксидантное действие. Одними из наиболее часто используемых растений являются не только традиционные плодовые и ягодные, но и

малораспространенные культуры – брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idea* L.) и кизил обыкновенный (*Cornus mas* L.) [1, 2].

Брусника и кизил – перспективные объекты для научных исследований в области фармакологии, фитохимии и пищевых технологий, так как их плоды и листья богаты витаминами, антиоксидантами и другими разнообразными БАС. В настоящее время в медицине брусника и кизил используются для укрепления иммунной системы, улучшения пищеварения и снижения артериального давления [3, 4].

В ряду известных антиоксидантов наибольшим разнообразием химических свойств и биологической активности обладают арбутин и гидрохинон. Арбутин представляет собой биологически активный гидрофильный полифенол (простой полифенол) с двумя изомерами, включая α -арбутин (4-гидроксифенил- α -глюкопиранозид) и β -арбутин (4-гидроксифенил- β -глюкопиранозид) – основные действующие вещества многочисленных лекарственных растительных препаратов (ЛРП), обладающих такими многоцелевыми биологическими эффектами, как антидиабетический, диуретический, антимикробный, противоопухолевый, противовоспалительный, цитопротекторный и антиоксидантный [5, 6].

Арбутин проявляет антибактериальные и бактерицидные свойства благодаря гидрохинону, который образуется в желудочно-кишечном тракте человека в результате ферментативного гидролиза наряду с глюкозой. Антиоксидантное действие арбутина обусловлено активацией факторов неферментной антиоксидантной защиты [7]. В чистом виде арбутин в медицинской практике применяется ограниченно, в основном используются отвары из ЛРС, содержащего арбутин [8].

Целью настоящей работы является количественное определение содержания фармакологически активного соединения арбутина в различных частях брусники и кизила методом УФ-спектрофотометрии с использованием различных способов очистки.

Объектами исследования служили плоды и листья брусники обыкновенной и кизила обыкновенного, заготовленные от дикорастущих растений: в смешанном лесу Шабалинского района Кировской области – в случае брусники, и в предгорье Крымских гор в Республике Крым – в случае кизила.

Для фитохимического исследования получали водные и водно-спиртовые извлечения из плодов и листьев растений. Определение количественного содержания арбутина проводили следующими методами:

1) спектрофотометрическое определение с предварительным осаждением полифенольных соединений раствором основного ацетата свинца. Водные извлечения листьев и плодов получали четырехкратной экстракцией при соотношении сырья и экстрагента 1:25 при температуре равной 100 °С в течение 20 мин, и последующей очисткой 10%-ным раствором ацетата свинца до полной коагуляции осадка [9];

2) спектрофотометрическое определение с предварительным осаждением полифенольных соединений оксидом алюминия нейтральным для хрома-

тографии. Водно-спиртовые извлечения листьев и плодов получали экстракцией при соотношении сырья и экстрагента 1 : 50 при нагревании в течение 45 мин, и последующей очисткой в хроматографической колонке диаметром 1,5 см и высотой 25 см. Экстрагентом являлся 70% этиловый спирт [10].

Спектрофотометрическое определение арбутина в фильтрате (метод 1) и элюате (метод 2) проводили при аналитической длине волны 281 нм в сравнении со значением удельного показателя поглощения арбутина, который равен 72.

Полученные результаты количественного определения арбутина с использованием различных методов очистки от полифенольных соединений представлены в таблице.

Таблица

**Результаты спектрофотометрического определения арбутина
в листьях и плодах *Vaccinium vitis-idea* L. и *Cornus mas* L.
различными методами очистки**

№	Показатель	Метод очистки	Сырье			
			Брусника		Кизил	
			Ягоды	Листья	Плоды	Листья
1	Арбутин, %	Основной ацетат свинца	9,12±0,07	10,50±0,30	5,0±1,0	7,33±0,03
2		Оксид алюминия нейтральный	9,20±0,20	16,62±0,13	24,5±0,7	7,70±0,20

По результатам спектрофотометрического анализа извлечения брусники, полученного с использованием основного ацетата свинца, содержание арбутина в сырье составило 10,50±0,30% – для листьев и 9,12±0,07% – для ягод; с использованием оксида алюминия нейтрального для хроматографии – 16,62±0,13 и 9,20±0,20% для листьев и ягод, соответственно. Для кизила содержание арбутина составило 7,33±0,03 и 5,0±1,0% для листьев и плодов, соответственно, в случае основного ацетата свинца; 7,70±0,20% – для листьев и 24,5±0,7% – для плодов кизила.

Сравнительный анализ результатов показывает, что наибольшее содержание арбутина в исследуемом сырье можно наблюдать при хроматоспектрофотометрическом определении.

Известно, что на количественное определение арбутина влияет способ очистки от сопутствующих веществ, которыми являются полифенольные соединения. Фильтрация через слой алюминия оксида обеспечивает более высокую специфичность метода по отношению к определяемому соединению, так как при хроматографировании извлечений на колонке с алюминия оксидом нейтральным происходит более полная очистка арбутина от сопутствующих соединений. В то же время, осаждение полифенолов свинца ацетатом приводит к потерям арбутина вследствие неполной очистки сложной многокомпонентной смеси [11].

Установлено, что очистка извлечения свинца ацетатом по сравнению с хроматографической влечет потери арбутина от 1 до 80%.

Экспериментально-практический материал, представленный в работе, может служить теоретической основой для разработки показателей качества кизила обыкновенного и установления их норм, а также для получения и стандартизации лекарственных средств на его основе.

Брусника обыкновенная и кизил обыкновенный обладают широкими спектрами фармакологической активности – данные ЛРС можно считать пригодным для медицинского применения.

Библиографический список

1. Селезнев Н. Г. Технологическое исследование водных извлечений из листьев брусники // Рос. мед.-биол. вестн. имени акад. И. П. Павлова. 2017. № 2. С. 296–302.
2. Волобой Н. Л., Зверев Я. Ф., Брюханов В. М., Антиоксидантный и прооксидантный эффекты арбутина и гидрохинона в эксперименте *in vitro* // Бюллетень сибирской медицины. 2011. № 5. С. 41–44.
3. Охрименко Л. П., Калинкина Г. И., Дмитрук С. Е. Сравнительное исследование толокнянки, брусники и близких к ним видов, произрастающих в республике Саха (Якутия) // Химия растительного сырья. 2005. № 1. С. 31–35.
4. Matkarimova G. M. *Cornus mas* L. morphobiological features and healing properties // Web of scientist: international scientific research journal. 2022. Vol. 3. No. 4. P. 1420–1422.
5. Антонова Н. П. Количественное определение арбутина в лекарственных растительных препаратах // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2021. Т. 11. № 2. С. 121–129.
6. Arbutin: Occurrence in Plants, and Its Potential as an Anticancer Agent / L. Nahar, A. Al-Groshi, A. Kumar, S. D. Sarker // Molecules. 2022. Vol. 27. No. 24. P. 1–22.
7. Saedi M., Khezri K. A comprehensive review of the therapeutic potential of α -arbutin // Phytotherapy Research. 2021. Vol. 35. No. 8. P. 4136–4154.
8. Сафронова И. В. Особенности химического состава брусники обыкновенной и перспективы ее применения в медицине и здоровом питании // Инновации и продовольственная безопасность. 2015. № 4 (10). С. 63–73.
8. Нестерова Н. В. Определение арбутина в лекарственном растительном сырье // Фармация. Т. 67. № 3. С. 21–25.
9. Мазулин А. В., Калошина Н. А., Денисенко О. Н. Способ количественного определения арбутина в лекарственном растительном сырье // Патент СССР 1582090, МПК G01N21/33. Заявка 4433849, 31.05.1988. Дата публикации: 30.07.1990.
10. ОФС Количественное определение производных гидрохинона/арбутина в лекарственном растительном сырье, фармацевтических субстанциях растительного происхождения и лекарственных растительных препаратах. 2019.
11. Загузова Е. В., Степанова Т. А. Определение содержания арбутина в противоопухолевом сборе на основе лекарственных растений Дальнего Востока // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 127–133.

УРОЖАЙНОСТЬ ВЕГЕТАТИВНОЙ МАССЫ НЕКОТОРЫХ СОРТОВ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО НА СИДЕРАЛЬНЫЕ ЦЕЛИ

С. А. Емелев, Е. С. Лыбенко

*Вятский государственный агротехнологический университет,
k-selex@vgatu.ru, k-ozir@vgatu.ru*

В статье представлен опыт выращивания новых сортов люпина узколистного в Кировской области в качестве органического удобрения почв. Определены наиболее урожайные сорта для Кировской области, повышающие плодородие почвы.

Ключевые слова: люпин узколистный, сорт, урожайность, вегетативная масса, сидерат.

В производстве продукции сельского хозяйства существенная роль отводится животным и птице, так как для полноценного питания человека необходимы белки, жиры животного происхождения. В связи с этим при развитии данных организмов возникает достаточно большое количество органических отходов: навоз, помет и т. д. Они затем возвращаются в круговорот веществ – на поля, но возврат потребленных и переработанных организмом веществ не соразмерен возврату их в почву. В некоторых случаях перевозка органики на большие расстояния (более 8–10 км от ферм) экономически невыгодна. Поэтому в севооборот, а также на удаленных участках включаются культуры, которые дают органическое вещество с одновременной фиксацией молекулярного азота – бобовые. Бобовые культуры повсеместно выращиваются и используются в сельскохозяйственном производстве как мира, так и Российской Федерации [1–3].

Важными направлениями обеспечения экологической безопасности являются: борьба с загрязнениями природной среды за счет повышения степени безопасности технологий; создание экологически чистых технологий, транспорта и энергетики; рациональное использование природных ресурсов и др. [4]. С этой целью и производится изучение влияния выращивания новых сортов сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственном производстве.

Для всех веществ и форм растений, применяемых в производстве продуктов питания, производится всесторонняя оценка на аллергенность, тератогенность, мутагенность и т. д. В ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ в результате многолетних исследований выявлено мутагенное, росторегулирующее и фунгицидное действие на яровых зерновых культурах (ячмене, пшенице) агрохимикатов и биопрепаратов [5, 6], и только начинает изучаться влияние на растения новых сортов полевых культур условий Кировской области [6–8].

Восполнение потенциала почвы возможно в основном за счет бобовых и зернобобовых: гороха, вики, кормовых бобов, люпина. Такие культуры, как

фасоль, нут, соя – для Кировской области не актуальны из-за длительного периода вегетации.

Люпин обладает достаточно широким использованием: кормовым, сидеральным, декоративным. В большинстве случаев мы встречаемся с многолетним видом люпина, который в сельском хозяйстве считается сорным растением, содержит алкалоиды: люпинин, люпанин, ангустифолин и другие (обуславливают горечь растений и семян) и непригодны для скармливания как зеленая масса, так и семена. Большинство однолетних (узколистный, желтый, белый) видов люпина содержат пониженное количество алкалоидов и пригодны для скармливания скоту.

Самым раннеспелым и пластичным видом в России является люпин узколистный – и единственным адаптированным к высоким северным широтам вплоть до 60°. Он может развиваться на кислых песчаных почвах, с низким содержанием азота и фосфора, и является мощным аккумулятором азота. При благоприятных условиях люпин узколистный может накапливать в почве 150–200 кг/га симбиотического азота. Корневая система люпина может разлагать труднодоступные для других растений фосфаты почвы. Корни люпина, проникая в почву до 1,5 м и более, используют калий и другие макро- и микроэлементы из почвы. Таким образом, люпин может обходиться практически без удобрений, что в условиях дефицита средств становится весьма существенным фактором. Преимуществом данной культуры является прямостоячий побег (не требующий поддерживающей культуры); у современных сортов получено пониженное содержание алкалоидов (до 10 раз ниже), что способствует лучшему скармливанию как зеленой массы, так и плодов. Из однолетних люпинов в условиях Волго-Вятского региона устойчивые урожаи может давать только люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) [1–3].

В нашей стране в основном сорта люпина представлены селекцией ГНУ ВНИИ люпина – филиала ФГБНУ «ФНЦ ВИК им. В.Р. Вильямса»: Кристалл, Витязь, Сидерат 46, Брянский кормовой, Белорозовый 144, Снежень, Белозерный 110, Узколистный 53, Смена, Эпигональ и др. [8, 9]. Довольно активно также занимаются селекцией данной культуры в Ленинградском НИИ СХ «Белогорка», филиале ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха»: Белогорский 310, Олигарх, Фламинго.

В Волго-Вятском регионе зарегистрировано порядка 20 сортов люпина узколистного: Аккорд, Белорозовый 144, Брянский кормовой, Витязь, Деко 2, Дикаф 14, Куршавель, Кристалл, Меченат, Немчиновский 846, Немчиновский 97, Олигарх, Орловский, Орловский сидерат, Орловский сидерат 2, Сидерат 38, Сидерат 46 (все регионы), Снежень, Фазан, Федоровский. В Кировской области районировано всего три сорта: Ладный, Кристалл, Орловский сидерат.

Оценка новых сортов [6–8] люпина узколистного в конкретных эколого-географических условиях является приоритетной для любого региона.

Цель исследования – изучить особенности формирования растений некоторых сортов люпина узколистного, обеспечивающих высокий урожай зе-

ленной и сухой массы в условиях Кировской области для воспроизводства органического вещества почвы.

Опыты проведены на учебно-опытном поле агротехнопарка Вятского ГАТУ в 2023 г. Изучали сорта люпина узколистного селекции ФНЦ ВИК имени В. Р. Вильямса (ВНИИ люпина, г. Брянск), ФГБНУ ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха (Ленинградский НИИ, д. Белогорка) и ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА в условиях Кировской области. В качестве стандарта использовали безлисточковый сорт гороха посевного Указ (селекции ФГБУН Самарский ФИЦ РАН и ФГБУН ФИЦ Казанский научный центр РАН), в качестве контрольного высевали горох полевой (пелюшка) сорта Рябчик (селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока).

Почвы участка, на котором проводили исследования, дерново-подзолистые среднесуглинистые.

В каждом варианте (сорта) высевали из расчета нормы высева люпина узколистного 1,3 млн всхожих семян на га. Варианты размещены в 4-х кратной повторности. Посев проводили на делянки площадью 4,5 м². Размещение делянок систематическое (ступенчатое) в два яруса.

Для оценки изменчивости количественных признаков определяли основные статистические характеристики, существенность различий между вариантом и стандартом устанавливали с помощью критерия Стьюдента и НСР (наименьшая существенная разница) [10].

В результате исследований отмечается, что представленные сорта оказали значительное положительное влияние на урожайность вегетативной массы (зеленой – естественной влажности на момент уборки) зернобобовых (табл. 1). Отмечается существенная прибавка у всех сортов люпина узколистного от 10% и более к гороху сорта Указ. В 2023 г. прибавку зеленой массы более 70% дали сорта Белорозовый 144 и Фламинго, а наибольшая прибавка наблюдалась у сорта Белорозовый 144 (+334,0 ц/га = +79%), при НСР_{0,95} = 35,9 ц/га. Пелюшка Рябчик по зеленой массе превысил стандарт Указ на 17% или 72,3 ц/га. С увеличением объема вегетативной массы растет способность большего насыщения почвы органическим веществом и сохранения в пахотном горизонте почвы влаги, требуемой для выращивания последующих культур, а также созданию более структурированного (рыхлого) слоя почвы.

После уборки вегетативной массы зернобобовых культур проведена оценка содержания сухого вещества в растениях (рис.): наибольшее содержание отмечено у гороха сортов Указ (26,9%) и Рябчик (25,0%). У представленных сортов люпина содержание сухого вещества в основном было ниже на 8–11%, чем у гороха Указ – Эпигональ, Деко 2, Фламинго и других (16,2–17,1%), а наибольшее количество сухого вещества среди изучаемых сортов (18,8%) – Олигарх.

Таблица 1

Урожайность вегетативной массы (зеленая) сортов зернобобовых, ц/га

Сорт	Масса зеленая	
	среднее	± к Указ
Указ (горох)	420,5	—
Белорозовый 144	754,5	334,0
Эпигональ	506,5	86,0
Деко 2	485,3	64,8
Фламинго	729,8	309,2
Олигарх	462,0	41,5
Рябчик (пелюшка)	492,8	72,2
НСР _{0,95}		35,9

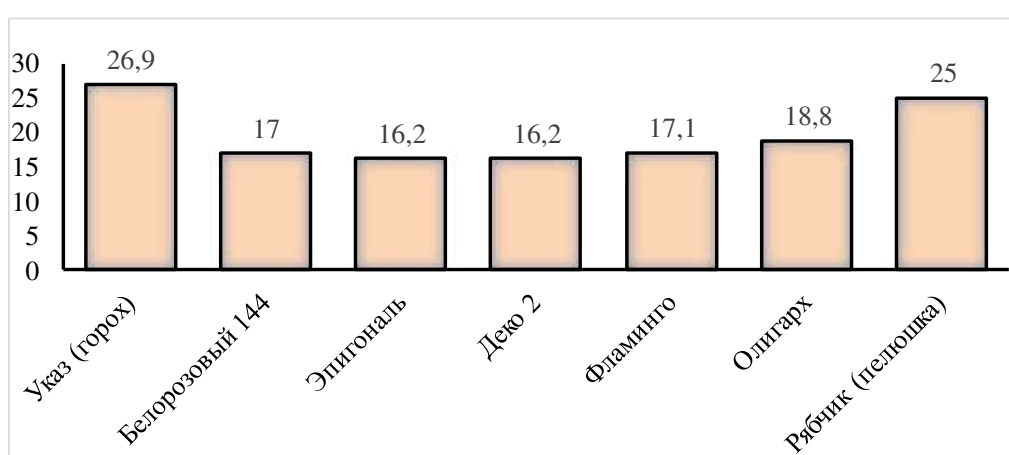


Рис. Содержание сухого вещества растений сортов люпина узколистного, %

Проводя математическую оценку данных по урожайности с учетом содержания сухого вещества, у зернобобовых культур (табл. 2) отмечается существенная прибавка только у некоторых сортов по сравнению с сортом Указ (130,2 ц/га).

Наибольшая урожайность абсолютно сухого вещества наблюдалась у сорта Фламинго – 158,9 ц/га (НСР_{0,95} = 9,7 ц/га).

Таблица 2

Урожайность вегетативной массы (сухой) сортов зернобобовых, ц/га

Сорт	Масса абсолютно сухого вещества	
	среднее	± к Указ
Указ (горох)	130,2	—
Белорозовый 144	153,3	+23,1
Эпигональ	102,2	-28,0
Деко 2	98,7	-31,5
Фламинго	158,9	+28,7
Олигарх	111,3	-18,9
Рябчик (пелюшка)	152,4	+22,2
НСР _{0,95}		9,7

Более половины приведенных сортов люпина узколистного достоверно уступили (– 18,9–31,5 ц/га) по урожайности сухой массы к сорту Указ.

По сбору урожая сухого вещества наименьший размер 98,7 ц/га отмечен у люпина сорта Деко 2 к гороху сорта Указ ($НСР_{0,95} = 9,7$ ц/га).

Преимущества гороха посевного (пищевое использование, высокое содержание сухого вещества) резко снижаются при промышленном производстве при некоторых субъективных факторах: при выращивании вблизи населенных пунктов – резко возрастают потери урожая, как зеленой массы, так и семян (в основном за счет вытаптывания).

Для получения высокой урожайности зеленой и абсолютно сухой вегетативной массы в условиях 2023 г. лучше подходит выращивание люпина узколистного сорта Фламинго. Его использование возможно как в сидеральных (запашка вегетативной массы – наполнение органическим веществом пахотного горизонта), так и в кормовых (данный сорт имеет пониженное содержание алкалоидов – пригоден для скармливания животным) целях.

Сорта люпина Эпигональ, Деко 2 и Олигарх не обладают преимуществами по формированию органического вещества в качестве зеленого удобрения по сравнению с другими сортами люпина узколистного и стандартом гороха посевного Указ и пелюшки Рябчик в условиях Кировской области.

Библиографический список

1. Леконцева Т. А., Лыбенко Е. С., Кузякина Л. И. Зависимость урожайности сортов люпина узколистного от погодных условий // Вестник Вятского ГАТУ. 2022. № 2 (12). С. 2.
2. Емелев С. А., Лыбенко Е. С. Урожайность вегетативной массы сортов люпина узколистного селекции ФНЦ «ВИК имени В. Р. Вильямса» // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России : материалы III Междунар. науч. конф. Красноярск : Краснояр. ГАУ, 2022. С. 206–210.
3. Емелев С. А., Лыбенко Е. С., Хлопов А. А. Урожайность зеленой массы и ее качество сидеральных сортов люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) в условиях Кировской области // Актуальные вопросы научно-технологического развития агропромышленного комплекса : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Махачкала : ФГБНУ «ФАНЦ РД», 2023. С. 106–111.
4. Кривошеин Д. А. Дмитренко В. П., Федотова Н. В. Основы экологической безопасности производств : учебное пособие. СПб. : Лань, 2021. 336 с.
5. Помелов А. В., Дудин Г. П. Защитное и неспецифическое действие биофунгицидов на яровом ячмене // Агро XXI. 2009. № 7–9. С. 35–36.
6. Дудин Г. П., Помелов А. В., Емелев С. А. Оценка ярового ячменя Изумруд в государственном сортоиспытании Кировской области // Актуальные проблемы селекции и технологии возделывания полевых культур : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ФГБОУ ВО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», 2017. С. 42–44.
7. Емелев С. А. Конкурсное сортоиспытание ярового ячменя в Вятском ГАТУ // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Киров, 2022. С. 59–64.
8. Агеева П. А., Почутина Н. А. Актуальные требования к новым сортам узколистного люпина в условиях меняющегося климата // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 1 (17). С. 99–103.

9. Агеева П. А. Новый сорт узколистного люпина Белорозовый 144 // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сборник науч. трудов. Лобня, 2021. С. 45–49.

10. Основы научных исследований в агрономии / В. Ф. Моисейченко, М. В. Трифонова, А. Х. Заверюха, В. Е. Ещенко. М. : Колос, 1996. 336 с.

ВЛИЯНИЕ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ СЕМЯН НА РАЗВИТИЕ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ РОДНИК ПРИКАМЬЯ

С. А. Емелев

*Вятский государственный агротехнологический университет,
k-selex@vgatu.ru*

В статье представлен опыт применения протравителей семян в качестве регуляторов развития ярового ячменя. Определены эффективные препараты, повышающие развитие растений ячменя и не оказывающие отрицательного влияния на признаки растений.

Ключевые слова: протравители, яровой ячмень, Родник Прикамья, влияние, элементы продуктивности.

Современное сельское хозяйство неразрывно связано с использованием различных химических веществ (удобрений, пестицидов, регуляторов роста и т.д.). В производстве продуктов питания основными источниками загрязнения являются минеральные и органические удобрения, пестициды, которые применяются при повышенных нормах и дозах, а также при не соблюдении научно-обоснованных норм.

Во всем мире, в том числе и в России, в последнее время значительно возрос интерес к проблемам повышения урожайности и качества произведенной продукции в аграрном хозяйстве. Существенно удалось расширить и углубить знания о роли пестицидов в жизни растений и сформулировать приоритетные задачи по сокращению объемов применения химических удобрений при выращивании зерновых культур [1–9], замене пестицидов на микробиологические препараты, защите растений от стресса [1, 2, 5, 7, 8].

Протравливание семян пестицидами – одно из направленных, экономических и экологических мероприятий по защите растений от болезней и вредителей. В процессе протравливания на семена наносят пестициды и агрохимикаты для уничтожения не только наружных, но и внутренних инфекций растительного происхождения, защиты и семян, и проростков в поле от почвообитающих фитопатогенов и различных вредителей [2–5, 8, 9].

На кафедре биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ в качестве мутагенных факторов изучались лазерный красный свет (ЛКС), дальний красный (ДКС) и синий свет (СС), гамма-лучи, физиологически активные вещества (фитогормоны, регуляторы роста, пестициды и т.д.). Всесторонне оценивается их влияние на различные количественные и качественные признаки и эффективность при производстве

ярового ячменя [6–10], ежегодно создаются новые препараты, и они нуждаются в оценках: эффективности, экономической, экологической и других.

Для обработки семян ячменя были использованы препараты как отечественных, так и зарубежных известных фирм: ООО ТД Кирово-Чепецкая химическая компания (КЧХК), ООО Союзагрохим, ООО Агрорус, ООО ЗемлякоФФ, ООО Ярило, ООО АФД Кемикалс, ООО Сингента, ЗАО Август, ООО Интер Групп (табл. 1).

Таблица 1

Препараты, используемые в опыте

Препарат	Производитель	Действующее вещество	Норма расхода
Контроль с.з.		дистиллированная вода	20 л/т
Дозор, КС	ЗемлякоФФ	тебуконазол 60 г/л	0,5
Грандсил, КС	КЧХК	тебуконазол 60 г/л	0,5
Максим, КС	Сингента	флудиоксонил 25 г/л	2,0
Флудимакс, КС	АГРус	флудиоксонил 25 г/л	2,0
Оплот, ВСК	Август	дифеноконазол+тебуконазол (90 + 450 г/л)	0,5
Тебузил, ТКС	ООО Ярило (Гарант Оптима)	имазалил+тебуконазол (100 + 60 г/л)	0,4
Анкер Трио, КС	АФД Кемикалс	имазалил, тебуконазол, тиабендазол (40 +60 + 60 г/л)	0,5
Триактив, КС	Союзагрохим (АГРус)	азоксистробин+ тебуконазол+ ципроконазол (100 + 120 + 40 г/л)	0,3
Грандсил Ультра, КС	КЧХК	имазалил + тебуконазол+ флутриафол (20 45 +75 г/л)	0,5

Цель исследования – изучить влияние химических протравителей семян на рост и развитие растений, урожайность ярового ячменя.

Полевые исследования проводили на яровом ячмене сорта Родник Прикамья. В опыте рассматривали влияние на растения этого сорта протравливания семян препаратами различного химического состава по сравнению с контролем, используя методы статистического и дисперсионного анализов. Семена обрабатывали за неделю до посева в соответствии с вариантами опыта, приведенными в таблице 1. Расход рабочей жидкости – 20 л/т семян. В контрольном варианте семена сорта Родник Прикамья обрабатывали водой из расчета 20 л/т.

В Кировской области одним из самых распространенных сортов ярового ячменя является Родник Прикамья, селекции ГУ Зональный НИИСХ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого и Пермский НИИСХ, является одним из самых востребованных и распространенных в посевах ярового ячменя в Кировской области. Среднеспелый, высокая урожайность, хорошие качественные показатели, средняя засухоустойчивость. Включен в список ценных по качеству сортов. Рекомендуются обязательное протравливание семян перед посевом (восприимчив к пыльной головне и гельминтоспориозу).

Полевые эксперименты проводили в 2022 г. на опытном поле Агротехнопарка Вятского ГАТУ. Почвы участка – дерново-подзолистые среднесуглинистые. Агротехника в сортоиспытании общепринятая для ярового ячменя, доза минеральных удобрений (NPK) по 60 кг д.в./га [12].

В каждом варианте обрабатывали и высевали из расчета нормы высева ярового ячменя 5 млн всхожих семян на га. Варианты размещены в 4-х кратной повторности. Посев проводили вручную на делянки площадью 4,5 м². Размещение делянок систематическое (ступенчатое) в четыре яруса. В опыте определяли чувствительность растений ячменя сорта Родник Прикамья на воздействие изучаемых факторов, используя такие показатели: учет густоты стояния и выживаемости растений ячменя, осуществляли фенологические наблюдения. После уборки у 40 растений из каждого варианта анализировали элементы структуры продуктивности.

Для оценки изменчивости количественных признаков определяли основные статистические характеристики, существенность различий между вариантом и стандартом устанавливали с помощью критерия Стьюдента [12].

Результаты исследований показали, что изучаемые препараты оказали стимулирующее действие на полевую всхожесть семян и выживаемость растений сорта Родник Прикамья (табл. 2). При этом достоверное увеличение полевой всхожести семян по сравнению с контролем отмечено во всех вариантах, но наибольшее с протравителями Максим, КС и Оплот, ВСК (+10,1–11,0%).

Таблица 2

**Показатели опыта на сорте Родник Прикамья
(2022 г., средние по повторениям)**

Вариант	Полевая всхожесть семян				Выживаемость растений			
	шт./м ²	±	%	± к К	шт./м ²	±	%	± к К
Контроль с.з. (К _{сз})	252	0	50,3	100,0	208	0	82,6	100,0
Дозор, КС	295	43	59,0	117,2	244	36	82,7	117,3
Грандсил, КС	299	47	59,7	118,7	246	38	82,4	118,3
Максим, КС	302	50	60,4	120,0	242	34	80,1	116,3
Флудимакс, КС	290	38	58,0	115,1	236	28	81,4	113,5
Оплот, ВСК	307	55	61,3	121,9	251	43	81,8	120,7
Тебузил, ТКС	288	37	57,6	114,5	242	34	84,0	116,3
Анкер Трио, КС	296	45	59,3	117,8	245	37	82,6	117,8
Триактив, КС	295	44	59,0	117,3	244	36	82,6	117,3
Грандсил Ультра, КС	274	22	54,7	108,7	226	18	82,6	108,7
		20,2				17,6		

Реакции на выживаемость растений сорта Родник Прикамья существенных отличий от полевой всхожести не выявлено. Достоверное увеличение этого показателя относительно контроля наблюдалось во всех вариантах обработки семян. Наибольшая выживаемость растений была отмечена под влиянием препарата Тебузил, ТКС – 84,0%.

По результатам анализа элементов структуры продуктивности растений ярового ячменя сорта Родник Прикамья выявлено: общая и продуктивная кустистость растений достоверных отклонений от контроля под действием всех препаратов не имеет (табл. 3). Только трехкомпонентные протравители оказали очень слабое стимулирующее влияние на кустистость.

Таблица 3

Характеристика элементов структуры продуктивности растений ячменя

Вариант опыта	Показатели						
	кустистость, шт.		длина, см		количество, шт.		масса зерна, г
	общая	продуктивная	стебля	колоса	колосков	зерен	
Контроль с.з. (К _{сз})	1,6	1,5	56,3	6,9	18,1	17,1	0,90
Дозор, КС	1,6	1,3	56,4	6,1*	18,3	16,5	0,76*
Грандсил, КС	1,6	1,6	58,8	7,2	20,6**	20,3***	0,99
Максим, КС	1,8	1,6	53,6	6,2	18,8	17,1	0,81
Флудимакс, КС	1,6	1,6	58,4	7,4	19,8*	19,7**	0,97
Оплот, ВСК	1,6	1,5	56,4	6,9	19,4	19,3**	0,96
Тебузил, ТКС	1,6	1,2	51,2***	6,6	19,2	18,3	0,84
Анкер Трио, КС	1,8	1,7	60,5**	7,3	20,0*	19,5**	1,02*
Триактив, КС	1,8	1,7	59,4	8,1**	21,9***	20,7***	1,12***
Грандсил Ультра, КС	1,7	1,7	55,8	6,9	20,0*	19,6**	0,96

Примечание: различия достоверны при уровне вероятности: * - P>0,95; ** - P>0,99; *** - P>0,999.

Значительные изменения в показателе «длина стебля» отмечены под действием протравителей семян в вариантах: Тебузил, ТКС – существенная депрессия признака до 51,2 см (при уровне достоверности 99,9%) и в варианте с протравителем Анкер Трио, КС – достоверная стимуляция этого показателя до 60,5 см (при уровне достоверности 99%), по сравнению с контролем (56,3 см).

Протравители семян на показатель «длина колоса» влияния практически не оказали – очень слабая стимуляция или реже депрессия признака. Значительное увеличение длины колоса отмечено при использовании Триактив, КС на 1,2 см, а достоверное уменьшение длины в варианте Дозор, КС до 6,1 см, по сравнению с контрольным вариантом (6,9 см).

А так как показатели «число колосков в колосе» и «число зерен в колосе», а зачастую и «масса зерна с колоса» в целом коррелируют от «длины колоса», то по ним наблюдается общая зависимость данных. Максимальное увеличение числа колосков и зерен в колосе выявлено при обработке семян Триактив, КС.

Достоверное положительное отклонение по «массе зерна с колоса» наблюдалось под влиянием Анкер Трио, КС и Триактив, КС – 1,02–1,12 г (у контроля 0,90 г), а снижение отмечено у препарата Дозор, КС – до 0,76 г. Остальные препараты показали в основном очень слабое положительное действие.

Реакцию растений ярового ячменя оценивали и с помощью среднего суммарного показателя депрессии (D,%) – стимуляции (St,%). Этот метод

подсчета нивелирует существующую вариацию выраженности любого количественного признака и дает объективный показатель разницы между сравниваемыми вариантами [13]. Коэффициент депрессии (или стимуляции) рассчитывался по семи признакам: полевой всхожести и выживаемости растений, продуктивной кустистости, длине стебля и колоса, количеству зерен в колосе и массе зерна с колоса.

Большинство изученных химических протравителей семян обладают стимулирующим эффектом на растения ярового ячменя сорта Родник Прикамья. Наиболее выраженные (более 5%) положительные значения получены под влиянием Анкер Трио, КС, Флудимакс, КС, Грандсил, КС, Триактив, КС – 8,0 и 12,3%, соответственно (рис.).

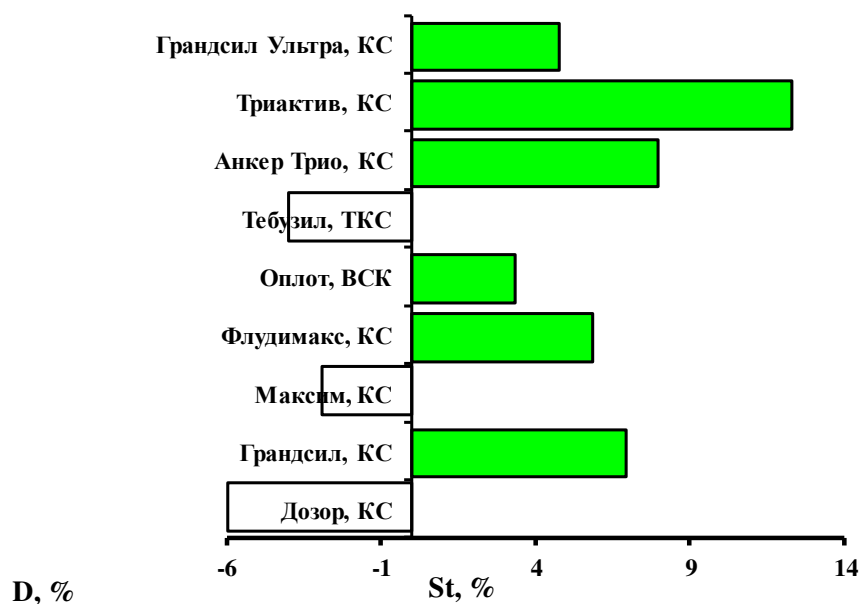


Рис. Депрессия – стимуляция развития ячменя Родник Прикамья, %

Препараты Кирово-Чепецкой химической компании Грандсил, КС и Грандсил Ультра, КС обладают слабо-средним совокупным положительным влиянием на признаки (+4,8–6,9%).

Только трехкомпонентные (Анкер Трио, КС, Триактив, КС, Грандсил Ультра, КС) протравители семян показали слабо-среднюю общую стимуляцию признаков – +4,8–12,3%.

Однокомпонентные препараты в зависимости от действующего вещества показали разнонаправленное (как положительное: +5,9–6,9%, так и отрицательное: – 2,9–5,9%) действие на признаки ярового ячменя.

Двухкомпонентные (Оплот, ВСК и Тебузил, ТКС) протравители, также как и однокомпонентные имеют разнонаправленное влияние на признаки ячменя, только с менее выраженными значениями – +3,4 и –4,0%.

Использование всех препаратов незначительно (в пределах ошибки опыта – не более 5%) изменяет полевую всхожесть семян и выживаемость растений ячменя.

Применение большинства протравителей оказывает положительное влияние на развитие элементов структуры продуктивности растений ярового

ячменя Родник Прикамья; наиболее значимую прибавку к увеличению значе- ний компонентов структуры урожайности дают препараты Триактив, КС (+12,3%) и Анкер Трио, КС (+8,0%).

Для получения высокой урожайности и снижения химической нагрузки необходимо использование многокомпонентных препаратов, и отказ от одно- компонентных протравителей, так как имеют большие нормы расхода и уже вызывают резистентность у возбудителей болезней. Но и их большая эффек- тивность в современном сельском хозяйстве проявляется на фоне полных доз минеральных удобрений, рекомендованных для данной культуры в зоне воз- делывания.

Библиографический список

1. Биопрепараты в сельском хозяйстве (Методология и практика применения мик- роорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве) / И. А.Тихонович, А. П. Кожемя- ков, В. К. Чеботарь и др. М. : Россельхозакадемия, 2005. 154 с.
2. Завалин А. А. Применение биопрепаратов при возделывании полевых культур // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 9–11.
3. Зинченко В. А. Химическая защита растений: средства, технология и экологиче- ская безопасность : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по агроном. спе- циальностям. М. : КолосС, 2005. 231 с.
4. Ганиев М. М., Недорезков В. Д. Химические средства защиты растений. 5-е изд., стер. СПб. : Лань, 2023. 400 с.
5. Информационный листок Россельхозцентра № 11/2020 г Исх.№ 1070 от 19.10.2020 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://rosselhoccenter.com/index.php/otdel-zashchity-rastenij-15> (дата обращения: 20.10.2023).
6. Емелев С. А., Дудин Г. П. Влияние мочевины на рост и развитие растений ячменя сорта Биос-1 в М1 // Материалы XIX науч.-практ. конф. Ижевской государственной сель- скохозяйственной академии. Ижевск : Шеп, 1999. С. 17–18.
7. Помелов А. В., Дудин Г. П. Защитное и неспецифическое действие биофунгици- дов на яровом ячмене// Агро XXI. 2009. № 7–9. С. 35–36.
8. Емелев С. А., Помелов А. В., Новоселов А. В. Влияние микробиологических пре- паратов на развитие ярового ячменя сорта Нур // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 179–183.
9. Реакция проростков ячменя на обработку семян биопрепаратами на основе ризо- бактерий / С. А. Емелев, А. В. Помелов, М. В. Черемисинов, Г. П. Дудин // Экология род- ного края: проблемы и пути их решения : материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 2. Киров : ВятГУ, 2018. С. 152–156.
10. Патент 2166847 Российская Федерация, МКИ7 А 01 С 1/00, С 12 N 15/01. Спо- соб мутагенной обработки семян зерновых культур: № 99115369/13 : заявл. от 12.07.1999 : опубл. б.и. № 14 от 20.05.2001 RU / Г. П. Дудин, С. А. Емелев (RU). 14 с.
11. Справочник Пестициды.ru: [Электронный ресурс]. – URL: http://www.pesticide.ru/pesticide/dozor, /tebuzil, /oplot, /Fludimax, /maxim, /grandsil, /anker-trio, /grandsil_ultra (дата обращения: 20.10.2023).
12. Основы научных исследований в агрономии / В. Ф. Моисейченко, М. В. Трифо- нова, А. Х. Заверюха и др. М. : Колос, 1996. 336 с.
13. Володин В. Г., Лисовская З. И. Радиационный мутагенез у ячменя. Минск : Наука и техника, 1979. 144 с.

ФИТОПАТОГЕННЫЕ ГРИБЫ – ИСТОЧНИКИ МИКОТОКСИНОВ

Л. М. Щеклеина¹, М. А. Щеклеин²

¹ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, *immunitet@fanc-sv.ru*,

² Кировский медицинский колледж, *kmk@kbnk.kirov.ru*

При искусственной инокуляции растений наибольшую иммунологическую ценность среди сортов озимой ржи представляют Фаленская 4, Лика и Флора, которые в меньшей степени поражаются фузариозными корневыми гнилями, снежной плесенью и спорыньей. У линий яровой мягкой пшеницы комплексной устойчивостью к фузариозным корневым гнилям и спорынье характеризуются Т-66, Т-38 и У-163.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., *Triticum aestivum* L., *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc., *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul., сорт, устойчивость.

Фитопатогенные грибы рода *Fusarium* Link и *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. являются продуцентами опасных для человека и животных токсинов, обладающих канцерогенным, мутагенным, тератогенным действием; провоцируют образование злокачественных опухолей; приводят к тяжелым отравлениям и снижают иммунитет в целом [1, 2]. Микотоксины образуются, когда грибы заражают зерновые культуры в поле, в собранном урожае, при хранении, а также при переработке зерна (рис.).

Грибы рода *Fusarium* приводят к появлению фузариозных болезней зерновых культур, таких как снежная плесень, корневые и прикорневые гнили, фузариоз колоса и зерна. Отмечено ухудшение посевных и технологических качеств зерна, загрязнение его микотоксинами, а потери урожая достигают более 50% [3]. Среди них такие опасные токсины, как дезоксиниваленон (ДОН), неваленол, Т-2 токсин, НТ-2, диацетоксисцирпинол (ДАС), зеараленон, мониформин, фумонизины и др. [4].

Гриб *Claviceps purpurea* вызывает спорынью у зерновых культур [5]. Вредоносность спорыньи заключается в значительном снижении продуктивности растений из-за обеспложивания цветков. Кроме того, в рядом расположенных незараженных цветках наблюдается задержка развития завязи, в результате чего зерно формируется более мелкое и щуплое, что влечет за собой общее снижение урожайности зерна от болезни более 60% [6]. Наличие склероциев в зерне озимой ржи сильно снижает его посевное и пищевое качество. Гриб *Claviceps purpurea* является источником микотоксинов – эргоалкалоидов [7], способны вызывать у людей и животных смертельное заболевание эрготизм. Спектр алкалоидов и их количество может зависеть от географического происхождения склероциев и видовой принадлежности растений-хозяев [8].

Цель исследований – выявить генотипы озимой ржи и яровой мягкой пшеницы с высокой устойчивостью к фузариозным болезням (корневые гнили, снежная плесень) и спорынье для селекции этих культур.



Рис. Фитопатогенные грибы *Fusarium culmorum* (слева) и *Claviceps purpurea* (справа), вызывающие загрязнение зерна микотоксинами

Исследования проводили в 2021–2023 гг. в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Материалом исследований являлись 44 районированных сортов, перспективных популяций и линий озимой ржи и яровой мягкой пшеницы селекции ФАНЦ Северо-Востока. Изучение их проводили в лабораторных и полевых условиях на инфекционном фоне. В полевых условиях посев проводили на фитопатологическом участке кассетной сеялкой СКС-6-10. Площадь делянки 1 м², повторность трехкратная. Норма высева 250 всхожих зерен.

При изучении генофондов культур по устойчивости к корневым гнилям в лабораторных тестах использовали методику ВИЗР [9], в полевых – М. Ф. Григорьева [10]. Для инокуляции использовали твердый инокулюм (инфицированная зерносмесь) и водно-споровую суспензию конидий *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc. (штамм *F. culmorum* P/22-3). Объем выборки в каждом повторении – 25 растений, повторность 4-х кратная. Учитывали распространение (поражение) и развитие корневых гнилей.

При создании инфекционного фона на снежную плесень и учете болезни пользовались методикой Т. К. Шешеговой и Л. И. Кедровой [11].

При создании инфекционного фона на спорынью применяли авторскую методику [12] с использованием патогенных штаммов *Claviceps purpurea* (штамм *C. purpurea* P-20/с, P-22) из рабочей коллекции лаборатории иммунитета и защиты растений. Инокулюм в виде водно-споровой суспензии с титром 10⁵ конидий/мл вносили с помощью шприца в завязь цветков средней ча-

сти колоса при формировании зеленых пыльников. В фазу восковой спелости зерна ржи и пшеницы оценивали восприимчивость сортов по двум показателям: поражение (распространение) болезни в посевах и засоренность зерна склероциями. Характеристику сортов по устойчивости давали на основании шкалы немецкого ученого Т. Miedaner et al. [13]. После обмолота растений из каждой делянки и повторности отбирали все склероции и рассчитывали их процентное отношение к общей массе зерна.

При изучении сортов ржи и пшеницы селекции ФАНЦ Северо-Востока выявлено значительное влияние среды на иммунологическую характеристику генотипов. В лабораторном тестировании большинство новых популяций ржи характеризовались как высокоустойчивые к фузариозным корневым гнилям (табл. 1). В полевых условиях к фазе созревания корневая инфекция нарастала у всех сортов. Высокоустойчивых не выявлено, шесть сортов (Фаленская 4, Снежана, Рушник, Рада, Триумф, Графит) характеризовались как среднеустойчивые и только три сорта (Флора, Лика, Перепел) проявили умеренную устойчивость при развитии болезни от 15,2 до 17,8%.

Таблица 1

Проявление болезней на сортах и популяциях озимой ржи

Сорт, популяция	Корневые гнили		Снежная плесень		Спорынья	
	Степень поражения, %		пораже- ние, %	отраста- ние, %	пораже- ние, %	засорен- ность зерна склеро- циями, %
	фаза всходов	фаза восковой спелости				
Фаленская 4 – стандарт	10,2±0,03	20,9±4,12	100,0±0,0	50,0±20,0	10,0±4,90	1,5±0,08
Вятка 2	7,7±0,06	18,7±2,06	90,0±10,0	50,0±20,0	69,2±3,12	1,4±0,03
Кировская 89	10,9±0,02	30,6±1,67	50,0±15,0	90,0±10,0	40,7±5,63	3,5±0,06
Снежана	5,7±0,04	23,9±2,17	100,0±0,0	50,0±15,0	32,0±6,40	2,6±0,06
Рушник	8,9±0,04	25,1±2,03	100,0±0,0	50,0±20,0	15,6±5,12	1,5±0,08
Флора	7,5±0,02	17,4±3,48	60,0±15,0	90,0±10,0	13,8±2,14	1,9±0,08
Графиня	12,7±0,07	29,0±2,64	100,0±0,0	50,0±25,0	35,0±6,62	2,1±0,07
Рада	6,6±0,06	22,3±3,71	60,0±20,0	70,0±10,0	10,3±6,80	1,0±0,04
Кипрез	8,1±0,09	27,4±4,69	100,0±0,0	80,0±10,0	20,0±6,51	3,2±0,09
Триумф	4,9±0,04	24,9±6,17	90,0±5,0	80,0±10,0	50,7±3,07	5,5±0,08
Гармония	4,2±0,03	28,3±2,56	80,0±10,0	90,0±10,0	35,7±2,51	1,3±0,08
Лика	13,3±0,02	15,2±1,26	100,0±0,0	90,0±10,0	10,9±2,44	1,4±0,02
Симфония	5,3±0,03	31,8±1,14	100,0±0,0	70,0±15,0	19,5±3,62	1,3±0,03
Перепел	5,2±0,02	17,8±4,26	90,0±5,0	60,0±20,0	50,8±4,40	4,9±0,02
Графит	5,4±0,02	22,6±2,23	80,0±5,0	80,0±10,0	56,5±5,12	4,2±0,02
Грация	12,0±0,08	26,3±3,61	50,0±20,0	60,0±20,0	87,5±3,23	7,7±0,03
Роса	11,0±0,08	29,9±3,30	80,0±10,0	50,0±20,0	76,3±4,10	4,7±0,05
Садко	7,8±0,09	27,4±4,18	70,0±15,0	70,0±20,0	56,3±4,30	3,8±0,06
Леда	4,1±0,06	31,9±2,66	70,0±15,0	70,0±15,0	14,2±2,10	0,7±0,05
Сармат	11,0±0,08	27,1±4,41	70,0±15,0	90,0±10,0	5,2±3,12	0,6±0,09

Новые популяции озимой ржи при искусственной инокуляции возбудителями снежной плесени и спорыньи проявили различную восприимчивость к этим болезням. Так, несмотря на сильное поражение снежной плесенью (50,0–100%), большинство из них характеризовались как выносливые к ней. Об этом свидетельствует высокий уровень отрастания растений после поражения (50,0–90,0%). Среди них такие сорта, как Кировская 89, Флора, Гармония, Лика, Сармат и др. По отношению к спорынье все сорта сильно восприимчивы. Однако степень поражения и засоренность зерна склероциями возбудителя значительно различались. Наименьшие значения этих показателей выявлены у сортов Фаленская 4, Рушник, Флора, Рада, Лика, Леда и Сармат.

У сортов яровой мягкой пшеницы селекции ФАНЦ Северо-Востока высокую устойчивость в фазе всходов проявили 8 линий: Н-154, П-57, С-65, Т-38, Т-66, У-103, У-163, У-259 и стандарт Баженка; в фазу восковой спелости – Н-154, С-84, Т-38, Т-79, У-28, Т-15, У-103, У-163 (табл. 2). Однако лишь у четырех линий – Н-154, Т-38, У-103 и У-163 – признак сохраняется в течение всего онтогенеза. Следует выделить сорт Награда, переданный в 2020 г. на государственное испытание, который проявляет ювенильную и возрастную устойчивость к фузариозным корневым гнилям.

Таблица 2

Иммунологическая оценка сортов и линий яровой мягкой пшеницы

Сорт, линия	Степень поражения корневыми гнилями, %		Поражение спорыньей, %
	фаза всходов	фаза восковой спелости	
Маргарита – стандарт	21,6±2,13	20,5±6,91	2,2±0,09
Баженка – стандарт	10,2±1,03	16,4±2,23	7,4±0,06
Награда (Н-154)	7,6±2,11	7,1±1,20	10,2±0,07
П-57	3,7±2,05	12,9±2,02	21,7±0,10
С-65	7,7±1,60	16,3±3,32	1,7±0,03
С-84	29,9±6,10	7,7±4,01	5,1±0,02
Т-38	9,2±2,13	10,8±2,12	7,8±0,04
Популяция	14,7±2,20	12,5±3,20	8,6±0,05
Традиция (Т-66)	8,7±1,26	14,2±4,33	0±0,00
Т-79	23,4±8,52	8,9±4,22	21,7±0,09
Т-141	14,4±5,60	15,0±6,25	5,2±0,02
У-28	26,4±6,30	7,5±3,30	4,7±0,03
У-80	11,0±2,60	13,3±2,63	2,9±0,03
Т-15	17,8±4,15	6,2±3,10	8,0±0,08
Т-123	14,6±6,13	12,2±6,30	5,1±0,02
Т-154	18,1±6,82	11,5±5,52	7,8±0,04
У-103	8,7±4,10	10,0±3,09	13,3±0,07
У-112	25,1±6,22	13,7±4,12	5,6±0,02
У-120	21,7±3,32	14,7±4,52	8,5±0,04
У-163	10,3±4,25	4,2±1,31	7,3±0,05
У-259	9,3±6,25	22,8±6,18	14,0±0,09
У-200	23,5±6,63	22,2±6,12	8,0±0,04

По отношению к спорынье все изучаемые линии пшеницы оказались восприимчивы, за исключением новой линии Т-66. Наименьшее поражение

(1,7–8,0%) было у линий: С-65, С-84, Т-38, Т-141, У-28, У-80, Т-15, Т-123, Т-154, У-112, У-163, У-200 и стандартов Маргарита и Баженка. С учетом развития фузариозных корневых гнилей и спорыньи определенную иммунологическую ценность имеют только два из них: Т-38 и У-163. Следует отметить, что селекционный номер Т-66 под названием Традиция передан в 2022 г. на государственное сортоиспытание, который на инфекционных фонах обладал иммунитетом к спорынье.

При искусственной инокуляции растений *Fusarium culmorum* и *Claviceps purpurea* наибольшую иммунологическую ценность представляют три сорта ржи (Фаленская 4, Лика и Флора), которые в меньшей степени поражаются фузариозными корневыми гнилями, снежной плесенью и спорыньей, а также три перспективных линии пшеницы (Т-66, Т-38 и У-163) с комплексной устойчивостью к фузариозным корневым гнилям и спорынье.

Библиографический список

1. Монастырский О. А. Токсинообразующие грибы, паразитирующие на зерне // Агро XXI. 2001 № 11. С. 6–7.
2. Устойчивость сортов ржи к спорынье и содержание эргоалкалоидов в склероциях *Claviceps purpurea* в условиях Кировской области / Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина, В. П. Желифонова, Т. В. Антипова, Б. П. Баскунов, А. Г. Козловский // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53. № 3. С. 177–182. doi: 10.1134/S0026364819030127
3. Шашко Ю. К., Долгова Е. Л., Шашко М. Н. Прямые и косвенные потери, определяющие вредоносность грибов р. *Fusarium* – возбудителей фузариоза колоса и зерна пшеницы // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2020. Т. 58. № 1. С. 55–67. doi: 10.29235/1817-7204-2020-58-1-55-67
4. Гагкаева Т. Ю., Дмитриев А. П., Павлюшин В. А. Микробиота зерна – показатель его качества и безопасности // Защита и карантин растений. 2012. № 9. С. 14–18.
5. Щеклеина Л. М. Влияние погодных факторов на отдельные периоды развития гриба *Claviceps purpurea* (Fr.) Tul. и уровень вредоносности спорыньи в Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 20 (2). С. 134–143. doi: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.134-143
6. Щеклеина Л. М. Спорынья в посевах яровой пшеницы и поиск устойчивых сортов // Биосфера. 2022. № 14 (4). С. 432–435.
7. Proportions of predominant Ergot alkaloids (*Claviceps purpurea*) detected in Western Canadian grains from 2014 to 2016 / Т. J. Grusie, V. Cowan, J. Singh, J. McKinnon, B. Blakley // Mycotoxin Journal. 2018. Vol. 11. No. 2. P. 259–264. doi: 10.3920/WMJ2017.2241
8. Chemoraces and habitat specialization of *Claviceps purpurea* populations / S. Pazoutová, J. Olsovská, M. Linka, R. Kolínská, M. Flieger // Appl. Environ. Microbiol. 2000. Vol. 66. No. 12. P. 5419–5425. doi:10.1128/AEM.66.12.5419-5425.2000
9. Бенкен А. А., Хрустовская В. Н. Лабораторная оценка болезнеустойчивых растений и паразитических свойств возбудителей обыкновенной корневой гнили злаков // Труды ВИЗР. 1977. С. 9–13.
10. Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Ленинград : ВАСХНИЛ, ВИР, 1976. 59 с.
11. Шешегова Т. К., Кедрова Л. И. Методические рекомендации по созданию искусственных инфекционных фонов и оценке озимой ржи на устойчивость к болезням. Киров, 2003. 30 с.

12. Селекция озимой ржи на устойчивость к спорынье : методическое пособие / Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина, Л. И. Кедрова, Е. И. Уткина. Киров : ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, 2018. 27 с.

13. Genetic variation of winter rye cultivars for their ergot (*Claviceps purpurea*) reaction tested in a field design with minimized interplot interference / Т. Miedaner, V. Mirdita, B. Rodemann, T. Drobeck, D. Rentel // Plant Breed. 2010. Vol. 129. P. 58–62.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ БИОМОРФОЛОГИИ ЧИСТЕЦА БОЛОТНОГО (*STACHYS PALUSTRIS* L.) В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОГО ОБВОДНЕНИЯ

А. А. Сивков

Вятский государственный университет, stud162636@vyatsu.ru

В статье раскрывается значение исследования адаптивных возможностей растений, способных существовать в условиях переменного обводнения. Предложен комплекс методов для исследования побеговой системы *Stachys palustris* L. с выделением структурно-функциональных зон монокарпического побега, периодизации большого жизненного цикла, анализа структуры.

Ключевые слова: *Stachys palustris*, семейство Labiatae, переменное обводнение, адаптация, прибрежная зона, биологическое разнообразие, цветковые растения.

Одной из глобальных проблем современной экологии является сохранение биологического разнообразия от видового до экосистемного. Наибольшее значение имеет сохранение видов. Знания об адаптациях организмов к существованию в разных средах биосферы, механизмов и способов формирования их приспособленности, являются ключом к её решению. Цветковые растения, как модульные организмы, в этом плане представляют наиболее репрезентативную группу живых существ. Они способны к неограниченному росту и морфологическим перестройкам в течение всей жизни при постоянном, регулярном и закономерном повторении в онтоморфогенезе определенных структурных элементов – элементарного, универсального и основного модулей: элементарные метамеры, одноосные побеги и образовавшиеся в ходе нарастания и ветвления на их основе побеговые системы соответственно [1].

Травянистые многолетние растения, образующие подземные побеги (корневища, столоны), повсеместно распространены в природе и широко используются человеком в практической деятельности при восстановлении сенокосов и пастбищ, рекультивации земель, получении пищевых продуктов, лекарственных препаратов и т. д. Способность видов поддерживать большой меристематический фонд за счет подземных побегов способствует их конкурентоспособности и успеху при захвате территории в природных сообще-

ствах, а габитус растения и особенности его побегообразования отражают условия среды [1, 2].

Особую группу растений составляют виды, способные существовать в условиях переменного увлажнения/обводнения. У них в качестве преадаптаций формируются структуры, обеспечивающие их существование в период кратковременного переувлажнения [3]. Это территории с закрепленным субстратом – берега водоемов и водотоков, в том числе пойменные луга с разным уровнем увлажнения; с незакрепленным субстратом – пляжи, приречные места, зона мелководий, а также участки на месте бывших небольших удаленных от русла водоемов, заболоченные территории по поймам рек, заросли пойменных кустарников, высыхающие старицы, колеи дорог и придорожные канавы [4].

Объектом наших исследований является *Stachys palustris* L. – чистец болотный – наиболее типичный представитель семейства Labiatae, образующий подземные побеги: столоны и клубни, обитающий в воде, прибрежной затопляемой и незатопляемой зонах. *S. palustris* – многолетнее травянистое столонообразующее растение. В России чистец болотный присутствует в умеренных регионах от европейской части России до юго-западной Сибири. Растение давно известно своими антисептическими и спазмолитическими свойствами; его использовали для облегчения подагры, судорог, болей в суставах и головокружениях; а сок, приготовленный в виде сиропа, принимался внутрь для остановки кровотечений, дизентерии [5].

Целью нашей работы стал выбор подходов и методов оценки адаптивных возможностей *S. palustris* для дальнейшего изучения влияния комплекса абиотических факторов на растения, обитающих в условиях переменного увлажнения.

Для проведения исследования нами выбран комплекс методов.

– Исследование структуры побега с выделением структурно-функциональных зон по методике W. Troll с последующими дополнениями.

– Описание периодизации большого жизненного цикла по методике Т. А. Работнова с учётом более поздних дополнений.

– Построение схемы типичного строения особи в конкретном онтогенетическом состоянии на основе анализа всех изученных растений, находящихся в этом состоянии.

– Использование гербарных материалов для уточнения отдельных показателей схем.

– Тип вегетативного размножения, степень морфологической дезинтеграции с использованием подходов Т. А. Работнова, Е. Л. Нухимовского, О. В. Смирновой.

– Анализ структуры побеговой системы с общих позиций модульной (метамерной) организации растений [1].

Таким образом, предложенный комплекс методов позволит дополнить и расширить имеющиеся данные о биоморфологии и экологии *S. palustris*.

Библиографический список

1. Савиных Н. П. Биоморфология вероник России и сопредельных государств : дис. ... д-ра биол. наук. М., 2000. 532 с.
2. Маркаров А. М., Головкин Т. К. Ростовая ориентация подземных побегов многолетних травянистых растений 1. Декапитация надземного побега и продолжительность фотопериода не влияют на ориентацию роста корневищ и столонов // Физиология растений. 1995. Т. 42. № 4. С. 526–532.
3. Савиных Н. П., Лелекова Е. В. Цветорасположение у водных и прибрежно-водных растений // Гидробиология 2005 : материалы VI Всерос. школы-340 конф. по водным макрофитам. Рыбинск, 2006. С. 97–105.
4. Савиных Н. П., Коновалова И. А. Побегообразование *Epilobium hirsutum* L. в связи с адаптациями трав сезонного климата к условиям переменного увлажнения / обводнения // Труды Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН. 2021. № 93 (96). С. 103–115. doi: 10.47021/0320-3557-2021-103-115
5. The Biology of Canadian Weeds. 153. *Stachys palustris* L. / S. J. Darbyshire, A. Francis, G. A. Mulligan, G. L. Graham. // Canadian Journal of Plant Science. 2014. Vol. 94. No. 4. P. 709–722. doi: 10.4141/cjps2013-300

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

ЗООПЛАНКТОН КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ПРУДА В Г. САМАРЕ

Ю. Л. Герасимов

*Самарский национальный исследовательский университет,
yuger55@list.ru*

В пруду в жилой застройке г. Самары в 2022 г. выявлено 16 видов колеровок из 10 семейств и 13 видов ракообразных из 6 семейств. Средняя численность зоопланктона не превышала 30 тыс. экз./м³. По 22 видам индикаторам сапробности пруд можно отнести к β-мезосапробной зоне. Пруд деградирует и нуждается в мелиорации.

Ключевые слова: городской пруд, видовой состав, колеровки, ракообразные, численность, сапробность.

Пруды в городах активно посещаются местными жителями, поэтому оценка состояния их экосистем представляется очень важной. Общеизвестно, что именно биодиагностика в сочетании с физико-химическими методами позволяет оценить состояние водоёма и его потенциал самоочищения.

Один из прудов на территории г. Самары отличается от остальных прудов наличием маленького острова. Санитарное состояние этого пруда оставляет желать лучшего, так как из-за неорганизованного отдыха местных жителей на берегах и дне накапливается бытовой мусор. Мы предприняли попытку оценить состояние экосистемы пруда по существующему в нём сообществу зоопланктона.

Пруд расположен в Кировском районе г. Самары в глубине жилого квартала. Расстояние до улиц с интенсивным автомобильным движением (ул. Стара-Загора и пр. Карла Маркса) 170 м и 110 м, соответственно. Расстояние до ближайших многоэтажных домов 25 м и 20 м. На северо-западном берегу блоки гаражей выходят на край котловины пруда. Пруд копаный, эллиптической формы, его длина в середине мая более 60 м, ширина до 40 м. С весны до осени прибрежные мелководья обсыхают, и площадь акватории уменьшается в разные годы на 20–25%. Ближе к северному берегу находится островок площадью около 100 м² с крупными старыми деревьями. В середине лета из-за понижения уровня воды островок соединяется с северным берегом. Максимальная глубина пруда 1,0 м, средняя 0,5 м, питание атмосферными

осадками и грунтовыми водами. Края котловины отлогие. По берегам растут старые деревья: дуб черешчатый и ива белая. Дно илистое, на дне разлагающиеся ветки и листья, мусор. На прибрежном мелководье развиты заросли ситняга болотного, рогоза узколистного, рогоза широколистного и частухи подорожниковой. Из погружённых растений – роголистник темно-зеленый. Вода мутная, желтоватая, издает неприятный запах гнили. Прозрачность по диску Секки 0,5–0,6 м. Температура воды в июле и августе доходила до 25–26 °С. Последнее гидрохимическое обследование проводилось в 2012 г. и показало превышение ПДК нефтепродуктов, СПАВ, азота аммонийного и фосфатов [1].

Пробы собирали в 2022 г. два раза в месяц с середины мая до начала октября по общепринятым методикам [2] планктонной сетью (газ № 64) и 2-л батометром в пелагиали (от дна до поверхности) и на мелководьях с погруженными макрофитами.

В 2022 г. в изучаемом пруду было обнаружено 16 видов кл. Rotatoria из семейств Asplanchnidae (род *Asplanchna*), сем. Brachionidae (роды *Brachionus*, *Keratella*), сем. Epiphanidae (род *Epiphanes*), сем. Euchlanidae (род *Euchlanis*), сем. Filinidae (род *Filinia*), сем. Lecanidae (род *Lecana*), сем. Philodinidae (род *Philodina*), сем. Synchaetidae (роды *Polyarthra* и *Synchaeta*), сем. Testudinellidae (род *Testudinella*) и сем. Trichocercidae (род *Trichocerca*). 4 вида коловраток пелагические, 12 видов – литоральные и эвритопные.

По сравнению с данными обследования пруда в 2012 г. (не опубликовано) не найден один представитель рода *Trichocerca*.

Ракообразных в 2022 г. выявлено 13 видов из семейств Cyclopidae (роды *Cyclops*, *Microcyclops* и *Thermocyclops*), сем. Eudiaptomidae (род *Eudiaptomus*), сем. Bosminoidae (род *Bosmina*), сем. Chydoridae (роды *Chydorus* и *Pleuroxus*), сем. Daphniidae (роды *Daphnia* и *Scapholeberis*), сем. Moinidae (род *Moina*). 5 видов считаются пелагическими, 4 эвритопными, 4 литоральными и зарослевыми.

Не найдены присутствовавшие в 2012 г. в пробах представители сем. Macrothricidae (род *Macrothrix*) и сем. Sididae (род *Diaphanosoma*).

Изменение видового состава зоопланктона и уменьшение количества видов объясняется, скорее всего, загрязнением пруда, гнилостными процессами в донном иле и поступающими из гаражей нефтепродуктами.

В 2022 г. среди коловраток наибольшей численности достигали популяции *Keratella* (до 34 тыс. экз./м³ в июне) и *Brachionus* – (до 8 тыс. экз./м³ в мае). Численность популяций других видов коловраток не достигала 0,5 тыс. экз./м³.

Численность популяций большинства видов ракообразных была меньше 1 тыс. экз./м³. Превышала эту величину численность *Thermocyclops* (до 5,58 тыс. экз./м³) в июне и *Daphnia* (до 4,38 тыс. экз./м³) в мае. В пробах постоянно встречались науплии (до 12,56 тыс. экз./м³ в мае) и копеподиты (до 9,39 тыс. экз./м³ в июне) циклопов.

Средняя численность зоопланктона в 2022 г. оказалась немного (на 16%) больше, чем в 2012 г, за счет активного размножения *Brachionus calyciflorus* Pallas, 1776, *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *K. quadrata* (Muller, 1786) и *Thermocyclops oithonoides* Sars, 1863.

Среди выявленных в пруду видов присутствуют индикаторы сапробности.

Для олигосапробных вод выявлен 1 вид-индикатор, для олиго-β-мезосапробных и β-мезо-олигосапробных вод – 12 видов-индикаторов, для β-мезосапробных вод – 6 видов-индикаторов, для β-а-мезосапробных вод 2 вида-индикатора и 1 вид -индикатор полисапробных вод. Исходя из численности популяций видов-индикаторов пруд можно отнести к β-мезосапробной зоне.

Состояние экосистемы изученного водоёма нельзя признать благополучным. Уменьшение, пусть и небольшое, количества видов зоопланктона с 2012 г., можно считать показателем ухудшения состояния пруда. Средняя численность коловраток и ракообразных по сравнению с 2012 г. немного выросла, но за счет всего 4-х видов из 29-ти видов, обитавших в пруду. Наибольшая средняя численность (29 тыс. экз./м³) зоопланктона наблюдалась в июне. Достаточно большой пруд является одним из самых бедных в г. Самара по числу видов, а численность зоопланктона здесь в разы меньше, чем в других прудах такого же размера [3].

Пруд создавался с целью накопления воды для полива существовавшего здесь сада-совхоза. После застройки территории жилыми домами пруд оказался в центре квартала, но сохранилось очень мало следов того, что пруд использовали как рекреационный объект. Расположенный в 500 м другой пруд обустроен для рекреации гораздо лучше и число видов и численность зоопланктона в нем больше [4]. Для улучшения санитарного состояния пруда необходимо удалить накопившиеся донные отложения, укрепить берега, обеспечить поддержание уровня воды примерно на 2 м выше современного. В г. Самаре более 10 лет проводится мелиорация прудов, можно надеяться, что она будет проведена и для Островного пруда.

Библиографический список

1. Шабанов В. А., Шабанова А. В. Оценка экологической безопасности воды рекреационных водоемов урбанизированных и хозяйственно-преобразованных территорий Самарской области по показателям сапробности // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 7 (49). Часть 4. С. 168–172.
2. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. 240 с.
3. Герасимов Ю. Л., Сеницкий А. В. Зоопланктон в экосистемах больших прудов г. Самары // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. Т. 11. № 1 (4). С. 695–698.
4. Герасимов Ю. Л., Мухортова О. В., Сеницкий А. В. Зоопланктон как показатель состояния экосистем двух прудов в г. Самаре // Экологические проблемы промышленных городов. Ч. 2. Саратов, 2009. С. 57–59.

ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА АЙДАРКУЛЬ ПОД ВЛИЯНИЕМ РОСТА МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Е. Н. Гинатуллина

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

В статье приводятся результаты исследований зоопланктона крупнейшего водоема в Узбекистане – озера Айдаркуль принимающего коллекторно-дренажные воды с орошаемых земель Голодной степи. Для оценки качества воды озера – важного объекта рыболовства, нами было выбрано 2 ареала с разной минерализацией воды: центральная пелагическая, глубоководная часть (6–8 г/л) и прибрежная часть на участке с наименьшей минерализацией (2–3 г/л). Для сравнения ареалов с разной минерализацией были использованы такой показатель, как видовое разнообразие (число видов); для оценки качества воды использовали индекс сапробности, вычисленный по индикаторным значениям зоопланктеров.

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

Введение. Айдар-Арнасайская система озер (ААСО) является крупнейшей озерной системой Узбекистана, собирающей коллекторно-дренажный сток с Голодной степи и временами подпитываемая пресной водой с Чардарьинского водохранилища (Казахстан). ААСО включает комплекс озер Айдаркуль, Тузкан, Восточный Арнасай и Арнасайское водохранилище, является крупнейшим рыбохозяйственным водоемом Узбекистана, дающим более 60% продукции рыболовства в Республике. Также система является крупнейшим в регионе местом обитания околородных птиц и одним из важнейших мест остановки и кормления перелетных птиц, мигрирующих из Сибири в Африку и индийский субконтинент. Из-за сильного испарения в летнее время и отсутствия постоянного притока пресной воды (до 3 г/л), минерализация в озере увеличивается. При этом падает уровень воды и с обнаженных террас суши, ветром поднимается и разносится на большое расстояние пыль и соль [1].

Методы исследования. ААСО располагается на стыке Голодностепского плато с пустыней Кызылкум, а на юге ограничивается Нуратинским горным поднятием. Озера Айдаркуль – бессточное, самое крупное и глубокое в системе озер, его площадь составляет 3000 км² (рис.).



Рис. Станции отбора гидрохимических и гидробиологических проб

В 2019 г. пробы зоопланктона отбирались 4 раза – один раз в сезон, вдоль прибрежной линии в опресненной (2–3 г/л) части озера, близко расположенной к источникам пресной и коллекторной воды.

В 2023 г. пробы зоопланктона отбирали дважды: в апреле и июне, с центральной сильно минерализованной акватории (6–8 г/л; в осенний период > 8 г/л) Айдаркуля с моторной лодки «Прогресс», на глубинах 15–20 м. Методы отбора зоопланктона представляли способ отделения планктона от воды с помощью фильтрации зоопланктона через сеть Джеди (диаметр 25 см), протягивая её в вертикально-горизонтальном направлении в толще воды [2]. Пробы фиксировали 40% формалином, доводя концентрацию пробы до 4% и идентифицировали с использованием современных определителей [3–5].

Результаты. При обработке проб за 2019 г. видовое разнообразие зоопланктона составило 18 видов коловраток, 8 видов кладоцера и 6 видов копепода (всего 32 вида) (табл.). Наибольшее разнообразие коловраток было характерно в летне-осенний период для покрытой погруженной растительностью зоны озера. Мелкие ракообразные кладоцеры и копеподы доминировали в зимне-весенний и летне-осенний периоды. Зимой 2019 г. в пробах доминировал крупный палеарктический веслоногий рачок *Cyclops heberti*, его биомасса составила 1672 мг/м³ (85% общей биомассы), а численность науплиальных и копеподитных особей популяции – 24500 экз./м³. Весной доминировал представитель ветвистоусых рачков *Daphnia cucullata* (90% от общей биомассы). Виды *Chydorus sphaericus*, *Bosmina longirostris* и *Alona rectangula* занимали по 1% каждый от общей биомассы, остальные виды встречались достаточно редко. Среди веслоногих рачков встречался *Thermocyclops vermifer* (7%). Проба была количественно богатой, численность составила – 270135 экз./м³, а биомасса – 8938 мг/м³. Летом в пробах доминировал *Mesocyclops aequatorialis* (75%), *Moina brachiata* (20%); очень редко встречались *A. rectangula* и *Onyocamptus mohammed*. Численность составила – 2277 экз./м³, а биомасса – 99,5 мг/м³. Осенью веслоногий рачок *M. aequatorialis* продолжал доминировать, его биомасса составила 35,5 мг/м³ (75% общей биомассы), а чис-

ленность его науплиальных и копеподитных особей составила 3066 экз./м³. Кроме этого рачка, встречались гарпактицида *O. mohammed*, доминировала кладоцера *A. rectangula* – 5,6 мг/м³. Единично встречались также кладоцера *Ceriodaphnia turkestanica* и коловратка *Euchlanis dilatata*.

Таблица

Видовой состав оз. Айдаркуль в 2019 и 2023 гг. на станциях с разной минерализацией воды

Группа, вид зоопланктона	зима	весна	лето	осень	Группа, вид зоопланктона	зима	весна	лето	осень
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rotifera					Cladocera				
1. <i>Asplanchnopus hyalinus</i> Haring, 1913		+	+		1. <i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862		+		
2. <i>Asplanchna priodonta</i> Gosse		+			2. <i>Bosmina longirostris</i> Müll., 1785		+		
3. <i>Ascomorpha saltans</i> Bartsch, 1876			+		3. <i>Simocephalus vetulus</i> O. F. Müller, 1776		+		
4. <i>Brachionus nilsonii</i> Ahlstrom, 1940			+		4. <i>Chydorus sphaericus</i> O. F. Müller, 1776	+	+	+	
5. <i>Bdelloidea</i> sp.			+		5. <i>Alona rectangula</i> G. O. Sars, 1862		+	+	+
6. <i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832		+		+	6. <i>Pleuroxus aduncus</i> Jurine, 1820		+	+	
7. <i>Filinia longiseta</i> Ehr., 1832		+			7. <i>Oxyurella tenuicaudis</i> Sars, 1862		+		
8. <i>Monostyla cornuta</i> Muller, 1786			+		8. <i>Moina brachiata</i> Jurine, 1820			+	+
9. <i>Trichotria curta</i> Skorikov, 1914			+		9. <i>Ceriodaphnia turkestanica</i> Berner Rachm., 2002				+
10. <i>Monostyla lunaris</i> Ehr., 1832			+		Copepoda				
11. <i>Mutillina ventralis brevispina</i> Ehrenberg, 1830			+		1. <i>Thermocyclops vermifer</i> Lindberg, 1935		+		
12. <i>Keratella quadrata</i> O. F. Müller					2. <i>Cyclops heberti</i> Einsle, 1996	+	+		
13. <i>Lecane horne-manni</i> Ehrenberg, 1834			+		3. <i>Acantocyclops venustus</i> , Norman Scott, 1906	+	+		
14. <i>Lecane pussila</i> Haring Myers, 1914			+		4. <i>Paracyclops fimbriatus</i> , Fisher, 1853	+			
15. <i>Trihocerca sejunctipes</i> Gosse, 1886			+		5. <i>Arctodiaptomus salinus</i> Daday, 1885	+	+	+	+

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16. <i>Squatinella rostrum rostrum</i> Schmarda, 1846			+		6. <i>Mesocyclops aequatorialis</i> Kiefer, 1929			+	+
17. <i>Hexarthra oxyuris</i> Zernov, 1903			+		7. <i>Onychocamptus mohammed</i> Blanch Rich			+	+
18. <i>Lepadella haueri</i> Rodewald, 1935			+		8. <i>Cyclops vicinus</i> , Uljanin, 1875	+	+		+

При обработке проб зоопланктона за апрель 2023 г. из центральной более минерализованной и глубоководной части озера Айдаркуль было обнаружено только 2 вида веслоногих ракообразных – *Arctodiaptomus salinus* и *Cyclops vicinus*, а также их науплии. Количественное развитие зоопланктона на исследованных станциях было незначительным: средняя численность составила 3269 экз./м³, а биомасса – 169 мг/м³.

В летних пробах 2023 г. обнаружена каланида *Arctodiaptomus salinus* и ее науплии и кладоцера *Moina brachiata*; средняя численность составила – 17104 экз./м³, а биомасса – 1241 мг/м³. В сообществе зоопланктона биомасса распределялась более равномерно между *Arctodiaptomus salinus* и *Moina brachiata* в летнее время года, а весной доминировал диаптомус. Доминирующий на минерализованных станциях галобионт *Arctodiaptomus salinus* является грубым фильтратором (расстояние между щетинками на его фильтровальном аппарате составляет от 1,7 до 15 мкм); в отличие от мойны, которая является тонким фильтратором (расстояние между щетинками на ножках – от 0,2 до 4 мкм). Каланоиды, как грубые фильтраторы, и все циклопоиды, как факультативные хищники, фактически не потребляют такие мелкие организмы как бактерии и микрофлагелляты. Поэтому при доминировании копепод заметно усиливается функция микробиального сообщества, увеличивается число бактерий, и возрастает степень сапробности.

Всего на сильно минерализованных станциях было обнаружено 3 вида ракообразных, а на менее минерализованных – 32 вида. Главным фактором, определившим биоразнообразие зоопланктона на этом участке озера Айдаркуль, была минерализация воды. Кроме того, в пробах с пелагической части озера не обнаружено коловраток, которые все-таки предпочитают более мелководные зоны.

Индекс сапробности для всех исследованных станций в 2019 г. и 2023 г. в оз. Айдаркуль составлял от 1,72–2,21 – бетамезосапробная зона (наименьший индекс сапробности был зимой, а наибольшим – летом). Айдаркуль характеризуется, как водоем с большими иловыми наносами на дне, что определяет его гидрохимический режим: рН = 6,5–7,0, кислород – 4,5–6 мг/л, жесткость 120 мг. экв./л.

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 // E3S Web of conference APEEM-2023. Russia. Moscow. 2023. 407. 01004. P. 1–7
2. Салазкин А. А., Иванова М. Б., Огородников В. А. Методические рекомендации. Ленинград : ГосНИОРХ, 1982. 34 с.
3. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР. Ленинград : Наука, 1970.
4. Ветвистоусые ракообразные (Cladocera) / А. А. Котов, А. Ю. Синев, С. М. Глаголев, Н. Н. Смирнов // Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. 2010. С. 151–276.
5. Определитель веслоногих ракообразных (Grustacea, Сorepoda) фауны Узбекистана / И. М. Мирабдуллаев, А. И. Абдурахимова, А. Р. Кузметов, А. А. Абдиназаров. Ташкент : ИЗ АНРУз, 2012. С. 16.

АНАЛИЗ ИНВАЗИРОВАННОСТИ ПОЧВЫ, ОСАДКОВ И СТОКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ЯЙЦАМИ ГЕОГЕЛЬМИНТОВ В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ В 2018–2022 ГГ.

Р. Г. Горячева^{1,2}, Н. В. Турмухаметова¹

¹ *Марийский государственный университет, bonid@mail.ru,*

² *Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Марий Эл, pzl.mari-el@yandex.ru*

В статье представлен анализ инвазированности яйцами геогельминтов *A. lumbricoides*, *T. canis*, *T. trichiura* почвы приусадебных участков, осадков и стоков очистных сооружений в Республике Марий Эл за период с 2018 по 2022 гг. Большая обсемененность геогельминтами обнаруживалась в почве приусадебных хозяйств, это объясняется использованием выгребных ям для удобрений земельных участков.

Ключевые слова: геогельминт, инвазированность, *Ascaris lumbricoides*, *Toxocara canis*, *Trichuris trichiura*.

В результате своей жизнедеятельности человечество производит много отходов, как в твердом, так и в жидком эквиваленте. Использование сливов очистных сооружений в водоемы, а также использование осадков сточных вод для улучшения плодородия почвы, оказываются причинами сокращения природного биоразнообразия и распространением опасных инфекционных заболеваний [1].

Очистные сооружения канализации контролируются по ряду параметров, в т. ч. по паразитологическим показателям. Часто самым высоким показателем, при исследовании являются геогельминты [2–3].

Поскольку объекты окружающей среды для развития геогельминтов являются обязательной экологической составляющей, как промежуточный хозяин для биогельминтов, исследования отходов очистных сооружений заслуживают особого внимания. Особенности развития геогельминтов и строения

яйцевой оболочки, по исследованиям ряда авторов, предполагают сохранения их жизнеспособности довольно продолжительное время. Наиболее часто яйца гельминтов попадают в почву с необеззараженными сточными водами и их осадками, животноводческими стоками, при рассеивании твердых бытовых отходов, использовании фекалий для приусадебных хозяйств [4]. Как правило, в сточных водах обнаруживаются яйца тех видов гельминтов, которые распространены среди населения данной местности, являясь продуктом хозяйственно-бытовой и производственной деятельности человека [5].

В Республике Марий Эл регистрируются следующие геогельминтозы: аскаридоз, токсокароз, трихоцефаллез [6]. Они могут контролироваться по микробиологическим и паразитологическим показателям.

Санитарно-паразитологические исследования стоков очистных сооружений целесообразно проводить сопряженно с микробиологическими показателями. Обнаружение ряда индикаторных микроорганизмов свидетельствует о недостаточной работе очистных сооружений.

Индикаторами неудовлетворительной работы системы очистки сточных вод могут выступать несколько видов бактерий и микроорганизмов:

1. ОМЧ (общее микробное число) – образуют колонии в 1 мл воды. Высокое число указывает на общую бактериологическую загрязненность воды и высокую вероятность наличия патогенных организмов.

2. Термотолерантные колиформные микроорганизмы – способны ферментировать лактозу при температуре 44–45 °С. Играют важную роль при оценке работы очистных систем.

3. Фекальные стрептококки – размножаются в загрязненной воде нечасто, их можно использовать при анализе качества воды с точки зрения оценки эффективности систем очистки [4, 7].

Нами был проведен анализ инвазированности яйцами геогельминтов почвы приусадебных участков, осадков и стоков очистных сооружений в Республике Марий Эл за период с 2018 по 2022 гг.

При проведении санитарно-гигиенического мониторинга окружающей среды использовали нормативно-методический документ [8].

Как показал анализ исследований мониторинговых точек очистных сооружений канализаций (ОСК) в 2018 году яйца *Ascaris lumbricoides* L. были обнаружены в двух пробах воды; *Toxocara canis* Werner – в 1 пробе; *Trichuris trichiura* L. – также в одной пробе воды. В этом же году яйца *A. lumbricoides* были обнаружены в одной пробе осадков сточных вод и в 10 пробах почв приусадебных участков. Яйца геогельминтов *T. canis* встречались в семи пробах, *T. trichiura* – в двух пробах. В 2019 г. яйца трех видов геогельминтов чаще фиксировались в почвенных пробах, а также в пробах воды. В 2020 г. в ОСК обнаружили яйца *A. lumbricoides* в двух пробах; в осадке сточных вод – в трех пробах, *T. trichiura* – в двух пробах; в почве приусадебных участков в одной пробе обнаружили жизнеспособное яйцо *T. canis*. В 2021 г. в одной точке ОСК обнаружилось нежизнеспособное яйцо *A. lumbricoides*, в осадке сточных вод в четырех пробах были обнаружены яйца *T. canis*. В 2022 г. яйца *A. lumbricoides*

были обнаружены в трех пробах точек ОСК, в осадке сточных вод и почве – в двух пробах. Яйца *T. canis* в указанных субстратах были представлены в 1–2 пробах. В этом же году не отмечена инвазированность различных субстратов яйцами *T. trichiura*.

На основании проведенных лабораторных исследований при проведении эпидемиологического мониторинга большая обсемененность геогельминтами обнаруживалась в почве приусадебных хозяйств, это объясняется использованием выгребных ям для удобрений земельных участков.

При разливе паводковых вод яйца *A. lumbricoides*, *T. canis*, *T. trichiura* могут попадать в окружающую среду (водные объекты) и являться причинами паразитарных заболеваний на территории республики.

Ранее было отмечено, что показатели заболеваемости аскаридозом в период с 2018 по 2021 гг. в республике варьируют. Важную роль в эпидемиологическом процессе играют природно-климатические и социальные факторы; наиболее уязвимой группой являются дети в возрасте до 14 лет. Выявилась тенденция к снижению заболеваемости энтеробиозом, т. к. в период с 2019 по 2021 гг. в связи с возникшей эпидемиологической ситуацией посещение детских общеобразовательных учреждений сократилось. Высокий процент зараженности геогельминтозами приходится на долю детского населения республики [9].

В целях снижения заболеваемости геогельминтозами следует:

1. Учитывать эпидемиологические требования безопасности и их критерии при использовании сточных вод для полива, их осадков для удобрения, рекультивации нарушенных земель, подготовки питательных грунтов.
2. Усилить контроль очистных сооружений канализации по микробиологическим показателям.
3. Контролировать по показателям осадки сточных вод как наиболее опасный в эпидемическом плане субстрат.
4. Изучать особенности циркуляции возбудителей паразитозов в условиях изменения климатических условий региона.
5. Рассмотреть альтернативные варианты для утилизации и обеззараживания илового осадка сточных вод.
6. Организовать санитарно-просветительскую работу среди населения сельской местности.

Библиографический список

1. Квартальный научно-практический журнал Медицинская паразитология и паразитарные болезни-4. М. : С-Инфо, 2021. 64 с.
2. Хроменкова Е. П., Демидова Л. Л., Упырев А. В. Пособие по санитарной паразитологии. Дониздат, 2015. 71 с.
3. Романенко Н. А., Новосильцев Г. И. Надзор за антропогенным воздействием на окружающую среду при кишечных паразитозах // Медицинская паразитология. 1992. № 2. С. 5–7.
4. Структура эпидемиологической значимости объектов окружающей среды в санитарной паразитологии / Е. П. Хроменкова, Л. Л. Демидова, Т. И. Твердохлебова,

А. В. Упырев, И. В. Хуторянина // Здоровье населения и среда обитания. 2015. Т. 7. № 268. С. 46–47.

5. Романенко Н. А., Малышева Н. С. Экологические основы профилактики паразитарных болезней. М., 2006. 327 с.

6. Санитарно-эпидемиологическая обстановка // Управления Роспотребнадзора по Республике Марий Эл. [Электронный ресурс]. – URL: http://12.rospotrebnadzor.ru/epidemiologic_situation (дата обращения: 16.10.2023).

7. Романенко Н. А., Падченко И. К., Чебышев Н. В. Санитарная паразитология. М. : Медицина, 2000. 320 с.

8. МУК 4.2.2661-10. Методы санитарно-паразитологических исследований. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 63 с.

9. Горячева Р. Г. Анализ динамики и структуры паразитарных заболеваний в Республике Марий Эл за 2018–2021 гг. // Современные проблемы естественных наук и фармации : сб. статей Всерос. науч. конф. Йошкар-Ола : Марийский гос. ун-т, 2023. Вып. 12. С. 25–27.

НАСЕКОМЫЕ БОЛОТНОГО ЗАКАЗНИКА «ПУТАННЫЕ ОЗЕРА» (РЕСПУБЛИКА КОМИ, РОССИЯ)

А. Н. Зиновьева

Институт биологии Коми научного центра

Уральского отделения Российской академии наук, zinovyeva@ib.komisc.ru

Представлены оригинальные сведения по инвентаризации насекомых особо охраняемой природной территории «Путанные озера». Выявлено 28 видов из шести отрядов, наиболее богато представлен отряд Heteroptera, единичные виды отмечены среди Trichoptera, Homoptera, Hymenoptera. Для массовых видов указаны особенности экологии и распространение.

Ключевые слова: насекомые, видовое разнообразие, заказник, плоскобугристое болото, тундровая зона, новые указания.

Болотная система «Путанные озера» (1000 га) – эталон типичного бугристого болота европейских южных тундр. Заказник представляет собой крупно- и плоскобугристое болото тундровой зоны, расположен на территории Воркутинского района республики Коми в 10 км на СВ от г. Воркуты. Вокруг болота выделена буферная зона шириной 300 м. Предложен для охраны Ботаническим институтом им. В. Л. Комарова Академии наук СССР, утвержден постановлением СМ Коми АССР от 30 ноября 1978 г. [1].

Цель работы – провести инвентаризацию фауны насекомых болотного заказника «Путанные озера». Исследования проводились в конце июля – начале августа 2008 г. в Воркутинском районе Республики Коми. По природно-зональному районированию данная территория относится к подзоне южных тундр [2]. Насекомых собирали энтомологическим сачком, методом кошения по травянистой и кустарниковой растительности, также использовали визуальный учет и ручной метод сбора насекомых. Нами были исследованы

центральная часть заказника (торфяные бугры), окрайка болота и примыкающая к буграм озерково-мочажинная зона.

В результате проведенных исследований выявлены представители шести отрядов насекомых: ручейники – Trioptera, равнокрылые – Homoptera; полужесткокрылые – Heteroptera (сем. Corixidae, Gerridae, Saldidae, Miridae, Lygaeidae, Pentatomidae); жесткокрылые – Coleoptera (сем. Carabidae, Staphylinidae, Chrysomelidae, Dytiscidae); перепончатокрылые – Hymenoptera (сем. Apidae); двукрылые – Diptera (сем. Culicidae, Dolichopodidae, Empididae, Tabanidae, Simuliidae), среди которых богато представлены клопы, включающие 21 вид (табл.).

Таблица

Состав насекомых болотного заказника «Путанные озера»

Название отряда	Число семейств	Число видов
Trioptera	1	(1)
Homoptera	1	(1)
Heteroptera	6	21 (1)
Coleoptera	4	5
Hymenoptera	1	1
Diptera	5	1 (3)
Итого:	6	28 (5)

Примечание: в скобках указано число не определенных до вида насекомых.

Микрорельеф болота бугристый, поверхность бугров ровная, наиболее крупные бугры пересекают мерзлотные трещины, с проточной или стоячей водой. Растительность повышеней однообразна, по структуре и составу близка к тундровой. В центральной части заказника были отмечены клопы (4 вида) и жуки (2 вида). Полужесткокрылые представлены слепняками (сем. Miridae), наземниками (сем. Lygaeidae) и настоящими щитниками (сем. Pentatomidae). Среди слепняков на листьях и плодах *Rubus chamaemorus* L. обнаружены *Chlamydatus pulicarius* (Fall.), *Chlamydatus pullus* (Reut.), личинки 2 и 3 возраста сем. Pentatomidae. Щитники находились в личиночной стадии, поэтому не были определены до вида. Растительноядные клопы рода *Chlamydatus* питаются бобовыми, но могут хищничать [3]. Голарктические виды, широко распространены от субарктической зоны до субтропиков, в регионе многочисленны в таежной зоне, заходят в южную тундру, отмечены на Северном, Приполярном и Полярном Урале. Наземники включают *Nysius ericae groenlandicus* (Zett.), этот многоядный вид обитает в тундровой зоне (местами заходит в крайнесеверную тайгу), в горных областях Приполярного и Полярного Урала, отмечен на о. Долгий и в Гренландии [4, 5]. Единственный представитель отряда жесткокрылые – листоед *Gastrophysa viridula* (Deg.), обнаружен на *Polygonum* sp. и *Rumex* sp. Голарктический вид обитает в Европе, на Кавказе, в Турции, в Сибири, на Дальнем Востоке, в Центральной Азии, в Корее, в Сев. Америке. На северо-востоке европейской части России отмечен в таежной зоне, лесотундре, Большеземельской тундре, на Северном,

Приполярном и Полярном Урале [6]. Среди коротконадкрылых жуков встречается *Anthophagus omalinus* Zett.

Окрайка болота представлена зарослями ерника и ивами. На листьях и семенах *Salix* sp. зарегистрированы полужесткокрылые сем. Miridae и жесткокрылые сем. Staphylinidae, Chrysomelidae. Среди клопов были отмечены *Lygocoris rugicollis* (Fall.), *Orthotylus boreellus* (Zett.), *Monosynamma bohemanii* (Fall.), среди листоедов *Gonioctena arctica* Mann., *Gonioctena linnaeana* (Schrank), для которых ива является кормовым растением. Хищный клоп *Anthocoris nemorum* (L.) и зоофитофаг *Closterotomus fulvomaculatus* (Deg.) охотятся в кроне ив на мелких насекомых и их личинок. На *Betula nana* (L.) обитают имаго и личинки 4–5 возраста *Psallus betuleti* (Fall.). Голарктический субаркто-бореальный вид широко распространен в южной тундре и таежной зоне региона, на Северном, Приполярном и Полярном Урале. Наиболее разнообразны по видовому составу насекомых злаково-разнотравные сообщества под пологом ив. В данном местообитании выявлены растительноядные клопы-слепняки, связанные с Gramineae – *Capsus cinctus* (Kol.), *Stenodema holsata* (F.), *Leptopterna dolabrata* (L.), с Rubiaceae – *Polymerus unifasciatus* (F.), с Cyperaceae – *Teratocoris saundersii* Dgl. Sc., *Euryopicoris nitidus* (M.-D.), с Fabaceae – *Chlamydatus pullus* (Reut.). Хищных клопов представляет *Nabis flavomarginatus* Scholtz. Среди жужелиц отмечен *Curtonotus alpinus* (Pauk.). На *Veronica* sp. зарегистрирован *Bombus balteatus* Dahl., известный из тундровой зоны Полярного Урала [7].

В заводях между торфяными буграми обнаружено пять видов насекомых. В толще воды обычны гребляки сем. Corixidae, водные жуки сем. Dytiscidae, личинки стрекоз, на поверхности воды – ручейники, имаго и личинки водомерок *Gerris argentatus* Schumm., *Gerris lacustris* (L.), *Limnoporus rufoscutellatus* (Lart.). Насекомые прибрежной зоны озерков объединяют околоводных клопов (сем. Saldidae), коротконадкрылых жуков (сем. Staphylinidae), жужелиц (сем. Carabidae), толкунчиков (сем. Empididae). Наиболее многочисленные – *Saldula littoralis* (L.), обычные – *Bembidion* sp., малочисленные – *Saldula fucicola* (Sahlb.). Личинки и имаго вышеуказанных видов – хищники. Озерки окружены осоково-пушицевыми ассоциациями, которые населяют клопы-слепняки рода *Teratocoris* sp., *Trigonotylus* sp. В период проведения исследований было отмечено уменьшение активности кровососущих двукрылых обыкновенного златоглазика (*Chrysops relictus* Mg.) и слепня *Hybomitra* sp. Обыкновенный златоглазик или пестряк реликтовый распространен в Европе, Турции, Казахстане, Сибири на восток доходит до р. Лены. Изолированные участки ареала вида отмечены в северной Монголии, Китае и Якутии [8]. Двукрылые представлены комарами (сем. Culicidae) и мошками (сем. Simuliidae). Комары откладывают яйца в стоячие постоянные или временные водоемы, в заводи между торфяными буграми и вокруг них; мошки развиваются в озерных протоках, вблизи растений или на заиленном песке.

Таким образом, фауна насекомых плоскобугристого болота обеднена и представлена 28 видами насекомых из шести отрядов. Впервые для Воркутинского района отмечены клопы *Stenodema holsata* (F.), *Polymerus unifasciatus* (F.), *Teratocoris saundersii* Dgl. Sc., *Euryopicoris nitidus* (M.-D.), *Orthotylus boreellus* (Zett.). Наиболее богата насекомыми окрайка болота (23 вида), обеднена центральная часть болота (пять видов).

Автор благодарит сотрудников Института биологии С. В. Пестова и Н. И. Филиппова за помощь в определении *Chrysops relictus* и *Bombus balteatus*.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разнообразие фауны и пространственно-экологическая структура животного населения европейского северо-востока России и сопредельных территорий в условиях изменения окружающей среды и хозяйственного освоения» (№ гос. регистрации темы НИР 122040600025-2).

Библиографический список

1. Кадастр охраняемых природных территорий республики Коми / под отв. ред. А. И. Таскаев, Н. И. Тимонин. Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 1993. 190 с.
2. Юдин Ю. П. Геоботаническое районирование Коми АССР // Производительные силы Коми АССР. Растительный мир. М.-Л. : Изд-во АН СССР. 1954. Т. 3. Ч. 1. С. 323–360.
3. Böcher J. Preliminary studies on the biology and ecology of *Chlamydatus pullus* (Reuter) (Heteroptera: Miridae) in Greenland // Meddelelser om Grønland udgivet af Kommissionen for Videnskabelige Undersøgelser i Grønland. 1971. Vol. 191. No. 3. P. 1–29.
4. Макарова О. Л., Макаров К. В. Полужесткокрылые насекомые (Heteroptera) Арктического острова Долгий (Баренцево море) // Зоологический журнал. 2006. Т. 85. Вып. 6. С. 702–711.
5. Böcher J. Biology and ecology of the arctic-alpine bug *Nysius groenlandicus* (Zett.) (Heteroptera: Lygaeidae) in Greenland // Norw. J. Entomol. 1978. Vol. 25. P. 72.
6. Долгин М. М., Беньковский А. О. Жуки-листоеды. СПб. : Наука, 2011. 292 с. (Фауна европейского Северо-Востока России. Т. VIII, ч. 3).
7. Филиппов Н. И. Разнообразие и экология шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) комплексного заказника «Хребтовый» // Современное состояние и перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий европейского Севера и Урала : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Сыктывкар : Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2015. С. 167–170.
8. Олсуфьев Н. Г. Слепни. Сем. Tabanidae // Фауна СССР. Насекомые двукрылые. Л. : Наука, 1977. Т. 7. Вып. 2. 435 с.

ВОДНЫЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ ЗАРОСЛЕЙ МАКРОФИТОВ СТАРИЦЫ КУРЬЯ

Е. М. Козвонина¹, Т. И. Кочурова², Д. В. Козвонин³, В. В. Козвонина⁴
¹ ФБГОУ ВО Кировский ГМУ, schulminka@yandex.ru,
² Государственный природный заповедник «Нургуш», kochurovati@mail.ru,
³ «Волго-Вятский институт (филиал) ФБГОУ ВО
«Московский государственный юридический университет
имени О. Е. Кутафина (МГЮА)» den.kozvonin@gmail.com,
⁴ МОАУ СОШ с УИОП № 37 г. Кирова

Приведены сведения о наблюдении за новым для флоры Кировской обл. растением вольфия (*Wolffia*) и таксономическом составе водных беспозвоночных в зарослях макрофитов старицы Курья.

Ключевые слова: макрофиты, вольфия, *Wolffia*, водные беспозвоночные.

Прибрежно-водная растительность является важнейшим фактором, регулирующим видовое разнообразие водных беспозвоночных. Заросли высших водных растений создают благоприятную среду обитания (температурный режим, насыщение кислородом), способствующую размножению и росту животных. Ряд животных использует заросли погруженных растений в период кладки яиц, питания личинок, в качестве убежищ. В зарослях растений встречаются представители всех основных групп беспозвоночных, населяющих водные экосистемы: простейшие, черви, моллюски, ракообразные, насекомые и др. [1].

В ходе мониторинга водоемов, находящихся в городской черте, в озере Курья, старице р. Вятки, расположенном на северной окраине г. Кирова, было обнаружено первое местонахождение в Кировской области вольфии, самого маленького из известных цветковых растений [2].

Вольфия (лат. *Wolffia*) – род водных однодольных растений семейства рясковых (Lemnaceae) [3, 4]. В природе *Wolffia* встречается в тропических лесах Азии, Африки, а также в Атлантической и Центральной Европе, Средиземноморье и Индии. В России известно несколько местонахождений вида *Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimm. [5–8], сравнительно недавно данный вид обнаружен в Новосибирской области [9].

Территория, на которой проводилось исследование, находится в черте города Кирова (Кировская область) в долине р. Вятки в Предуральской провинции лесной зоны. Район исследования располагается на левобережье р. Вятки. Рельеф холмисто-овражистый. Выше по течению Филейского геологического обнажения высота коренного левого берега составляет около 30 м, в пойме находятся многочисленные пойменные озёра и протоки, обильно заливающиеся водой в весенний период. Климат Кировской области умеренно-континентальный [10]. Преобладающая растительность на исследуе-

мой территории – пойменные луга с кустарниками. На склоне коренного берега Вятки – остатки елово-пихтового леса с подлеском из кустарников. В последнее время наблюдается интенсивное зарастание озер высшими водными растениями [11].

Во время строительства автомобильного моста протока Курья превратилась в старичное озеро, но на картах по-прежнему обозначается как протока. Многочисленные естественные выходы подземных вод коренного берега не дают пересыхать Курье в летний период. Длина озера Курья около 1290 м., ширина – от 30 до 50 м. Координаты старицы Курья – 58°64' с.ш.; 49°62' в.д. [12].

Наблюдения за местообитанием *Wolffia* проводились в полевых условиях на неглубоких водоёмах ежегодно в период 2015–2020 гг. С поверхности водоёма отбирались пробы воды с плавающими растениями. В пробе определялся вид растений, поиску *Wolffia* уделялось отдельное внимание, наличие и количество фиксировалось. Обнаруженное место обитания фотографировалось. Для лабораторного изучения брали пробы воды с растениями. В специально смоделированных условиях обитания продолжали наблюдения за *Wolffia* в зимний период времени. Для уточнения таксономического положения растения в 2019 г. выделено ДНК. Применялся СТАВ-метод [13].

В ходе наблюдения за обитанием вольфии в природе установлено, что в период с 2015 по 2017 гг. она ежегодно (с июня по октябрь) наблюдалась в большом количестве в старице Курья. Исследования 2017–2020 гг. на соседних пойменных водоёмах (три озера выше и два ниже по течению р. Вятки), не обнаружили в них обитания вольфии. Количество вольфии в Курье с каждым годом увеличивалось, что указывает на благоприятные жизненные условия. Данный вид можно считать адвентивным растением.

В 2020 г. юными натуралистами Денисом Козвоным и Викторией Козвоной под руководством педагога-организатора экологического воспитания КОГОАУ «Лицей естественных наук» Галины Геннадьевны Двининой, а также старшего преподавателя ФГБОУ ВО Кировского ГМУ Елены Михайловны Козвоной был осуществлен облов зарослей макрофитов. Пробы отбирали в верхнем 50-сантиметровом горизонте воды с макрофитами. Научный интерес представляло определение видов высшей водной растительности, а именно вольфии и группировок, в которые она входила, а также таксономического состава обитающих в них водных беспозвоночных.

Исследование проводили 23 июня 2020 г. Отбор качественных проб проводили с берега по стандартам в двух точках старицы Курья (точка 1 – у коллектора, точка 2 – у трамплина). Температура воды составляла + 20 °С, температура воздуха +23 °С.

Собранный материал обрабатывали в лабораторных условиях по общепринятым методикам [14]. Для установления вида, рода, семейства, макрофитов пользовались определителями [15]. Определение водных беспозвоночных в зависимости от таксономической группы проводили до уровня вида, рода, семейства, отряда, класса с помощью бинокулярного микроскопа МБС-10 и

определителя [16]. Консультантом по правильности определения животных выступала к. б. н. Татьяна Ивановна Кочурова.

В пробах обнаружены следующие макрофиты [17]: семейство Lemnaceae – вольфия (*Wolffia*), ряска малая (*Lemna minor* L.), ряска трёхдольная (*Lemna trisulca* L.), многокоренник обыкновенный (*Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid.); семейство Hydrocharitaceae: водокрас обыкновенный (*Hydrocharis morsus-ranae* L.). Установлено, что вольфия входила в состав группировок, смешанных с различными видами рясок. Описание сообществ с доминированием вольфии составляет перспективу исследования.

Результаты определения таксономического состава водных беспозвоночных представлены в таблице.

Таблица

Состав и встречаемость водных беспозвоночных в озере Курья, 2020 г.

Таксон	оз. Курья	
	у коллектора	у трамплина
1	2	3
Тип Cephalorhyncha		
Класс Gordiacea	–	+
Тип Annelida		
Класс Oligochaeta		
Семейство Tubificidae		
<i>Tubifex tubifex</i>	+	–
Класс Hirudinea		
<i>Erpobdella octoculata</i>	+	+
<i>Helobdella stagnalis</i>	+	–
<i>Piscicola geometra</i>	+	–
<i>Glossiphonia complanata</i>	+	–
Тип Mollusca		
Класс Gastropoda		
Семейство Lymnaeidae		
<i>Lymnaea stagnalis</i>	+	+
<i>Lymnaea truncatula</i>	+	+
Семейство Bulinidae		
<i>Planorbarius corneus</i>	+	+
Семейство Planorbidae		
<i>Anisus vortex</i>	+	+
Семейство Bithyniidae		
<i>Bithynia tentaculata</i>	+	+
Класс Bivalvia		
Семейство Sphaeriidae		
<i>Sphaerium corneum</i>	+	–
Тип Arthropoda		
Класс Crustacea		
Подкласс Cladocera		
<i>Daphnia pulex</i>	+	+
Отряд Isopoda		
Семейство Asellidae		
<i>Asellus aquaticus</i>	+	+

1	2	3
Класс Arachnida		
Отряд Aranei		
Семейство Agelenidae		
<i>Argyroneta aquatica</i>	–	+
Hydrachnidia	+	+
Класс Insecta		
Отряд Ephemeroptera		
<i>Polymitarcys virgo</i>	+	+
Отряд Plecoptera	+	+
Отряд Trichoptera	+	+
Отряд Odonata		
Семейство Coenagrionidae	+	–
Отряд Hemiptera		
Семейство Notonectidae		
<i>Notonecta glauca</i>	+	–
Семейство Naucoridae		
<i>Lyocoris cimicoides</i>	+	–
Семейство Gerridae		
<i>Gerris lacustris</i>	+	–
Отряд Coleoptera		
<i>Dytiscus marginalis</i>	+	–
<i>Acilius sulcatus</i>	+	+
Семейство Hydrophilidae		
<i>Hydrophilus aterrimus</i>	+	–
Отряд Lepidoptera	+	–
Отряд Diptera	+	–
Семейство Chironomidae	+	+
Количество таксонов	27	16

В составе водных беспозвоночных были обнаружены представители 16 основных таксономических групп: волосатики (Gordiaceae), малощетинковые черви (Oligochaeta), пиявки (Hirudinea), брюхоногие (Gastropoda) и двустворчатые (Bivalvia) моллюски, ракообразные (Crustacea), паукообразные (Arachnida), жестокрылые (Coleoptera), водные клопы (Hemiptera), нимфы стрекоз (Odonata), поденок (Ephemeroptera), веснянок (Plecoptera), чешуекрылых (Lepidoptera), ручейников (Trichoptera), личинки хирономид (Chironomidae) и прочих двукрылых (Diptera).

Фауна водных беспозвоночных насчитывала 27 таксонов, относящихся к 5 типам: Голвохоботные черви (Cephalorhyncha), Круглые черви (Nemathelminthes), Кольчатые черви (Annelida), Моллюски (Mollusca), Членистоногие (Arthropoda). В составе зообентоса старицы Курья в точке 1 (у коллектора) выявлено 27 таксонов, в точке 2 (у трамплина) – 16. У коллектора самой многочисленной группой оказались битинии (35 особей), малые прудовики (20), у трамплина – водяные ослики (16) и малые прудовики (8).

Фауна беспозвоночных старицы Курья не исчерпывается представленными сведениями, исследования требуют продолжения, в том числе в центральной части водоема.

Перспективы исследования: продолжить наблюдения за вольфией, определить видовую принадлежность растения, провести геоботаническое описание и классификацию сообществ *Wolffia*.

Библиографический список

1. Садчиков А. П., Кудряшов М. А. Экология прибрежно-водной растительности : учебное пособие для студ. вузов. М. : Изд-во НИА-Природа, РЭФИА, 2004. 220 с.

2. Кочурова Т. И., Козвонин Д. В. О находке вольфии (*Wolffia*, Lemnaceae) в Кировской области // 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. 219–220.

3. Леонова Г. Г. Семейство Рясковые // Жизнь растений: Т. 6. 1982. С. 493–500.

4. Вольфия // Вешин – Газли. М. : Советская энциклопедия, 1971. (Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. 1969–1978. Т. 5.

5. Адвентивная флора Воронежской области: Исторический, биогеографический, экологический аспекты : монография / А. Я. Григорьевская, Е. А. Стародубцева, Н. Ю. Хлызова, В. А. Агафонов. Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. 320 с.

6. Берест А. В. Тамбовская лесостепь: почва, растительность, ландшафт // Материалы к исследованию Природы : монография. Тамбов : Изд-во Р. В. Першина, 2011. 384 с.

7. К флоре Волгоградского Прихоперья и Нижнехоперского природного парка / В. А. Сагалаев, А. К. Скворцов, Т. В. Балюк, Е. Н. Кантемирова, Д. Е. Матвеев, М. В. Анфимова // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2004. № 4 (9). С. 77–85.

8. Щербаков А. В., Майоров С. Р. Водные адвентивные растения Московского региона // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2013. № 2. С. 57–61.

9. Киприянова Л. М., Прийдак Н. В., Костерин О. Э. Находка вольфии бескорневой *Wolffia arrhiza* (L.) Horkeel ex Wimm. в Новосибирской области (Западная Сибирь) – первая в Азиатской России // Российский журнал биологических инвазий. 2021. Т. 14. № 2. С. 56–62.

10. География Кировской области. Атлас-книга / под ред. и предисл. Е. А. Колеватых, А. М. Прокошева, Г. А. Русских. Киров : Кир. обл. тип., 2015. 80 с.

11. Ткачев Б. П., Булатов В. И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы. Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН. Новосибирск. 2002. 114 с. (Сер. Экология. Вып. 64).

12. ГИС-экология [Электронный ресурс]. – URL: <http://eco.geokirov.ru> (дата обращения: 31.08.2020).

13. Козвонин В. А., Кочурова Т. И., Козвонин Д. В. Выделение ДНК адвентивного растения вольфия (*Wolffia*) для дальнейшего геномного анализа // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: в 2 кн. Кн. 2. Киров: Вятский государственный университет, 2019. С. 180–183.

14. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. А. Б. Абакумова. Л. : Гидрометеиздат, 1983.

15. Новиков В. С., Губанов И. А. Школьный атлас-определитель высших растений: кн. для учащихся. М. : Просвещение, 1991. 240 с.

16. Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2011. 219 с.

17. Гарин Э. В. Водные и прибрежно-водные макрофиты России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР): Ретроспективный библиографический указатель. Рыбинск : ОАО «Рыбинский дом печати», 2006. 180 с.

НАХОДКИ РЕДКИХ ВИДОВ НАСЕКОМЫХ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. И. Кочурова¹, С. В. Пестов^{2,3}, Л. Г. Целищева⁴

¹ Государственный природный заповедник «Нургуш», *kochurovati@mail.ru*,

² Вятский государственный университет,

³ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,

⁴ Кировский городской зоологический музей

Приведены сведения о встрече в Кировской области двух видов редких насекомых: *Dorcus parallelipedus* (Linnaeus, 1758) (Lucanidae, Coleoptera) и *Proserpinus proserpina* (Pallas, 1772) (Sphingidae, Lepidoptera). Обнаружение личинки *P. proserpina* в центральной части области позволяет сделать предположение о продвижении границ ареала данного вида на север.

Ключевые слова: редкие насекомые, оленёк обыкновенный, *Dorcus parallelipedus* (Linnaeus, 1758), бражник прозерпина, *Proserpinus proserpina* (Pallas, 1772).

Редкие виды имеют огромное значение в функционировании сообществ, обеспечивая сложность организации и, в конечном итоге, устойчивость природных экосистем. В то же время редкие виды наиболее уязвимы и чувствительны к неблагоприятным воздействиям, первыми исчезают при изменении среды обитания. В связи с этим сбор сведений о редких видах и состоянии их популяций является весьма актуальным.

В данной статье приводятся сведения о встрече двух редких видов насекомых на территории Кировской области.

Представитель первого вида – жук оленёк обыкновенный (*Dorcus parallelipedus* (Linnaeus, 1758) из семейства Рогачей (Lucanidae). Самка жука была обнаружена Т. И. Кочуровой 11 июля 2022 г. во дворе жилого дома д. Салкым-Чишма Малмыжского р-на (определение Л.Г. Целищевой). Прежде в составе энтомофауны нашего региона вид не отмечен.

Оленёк обыкновенный – относительно крупный продолговатый жук. Длина тела 19–32 мм. Тело уплощенное, параллельно стороннее, черного цвета, матовое. В отличие от жука-оленя мандибулы у самца увеличены незначительно. Лоб у самки с двумя бугорками. Длина личинки до 60 мм [1].

D. parallelipedus распространен в Европе, на Кавказе, западе и юге европейской части России [2]. Обитает в смешанных, широколиственных и

иногда в хвойных лесах. Связан с мёртвыми деревьями многих пород (дуб, ильм, вяз, клен, тополь, липа, береза, осина). Имаго встречается в разреженных лесных участках, на поваленных деревьях и пнях, коре и в дуплах. Летает по ночам [3]. Время лета – апрель-октябрь. Личинки развиваются в мертвой гниющей древесине. Зимуют имаго [1].

Включен в списки охраняемых насекомых Владимирской (III категория охраны) и Тамбовской областей (I), Чувашской Республики (III), Республики Татарстан (III), Удмуртской Республики (III), Латвии (II), Швеции (II), Казахстана (I) [4]. Лимитирующими факторами является сокращение площади старых лиственных лесов, уничтожение ослабленных и погибших деревьев.

В сопредельных с Кировской областью регионах (Республика Татарстан, Удмуртская Республика) вид находится на северной и северо-восточной границах ареала, характеризуется как редкий малочисленный вид, встречается локально небольшими скоплениями. В Татарстане отмечается по всей территории, в Удмуртии имеет ограниченное распространение на крайнем юге [1, 2]. Места находок оленька обыкновенного в этих регионах располагаются в непосредственной близости от границ с Малмыжским и Вятскополянским районами Кировской области, которые, весьма вероятно, могут входить в состав ареала данного вида.

Представитель второго вида – гусеница бабочки прозерпины (*Proserpinus proserpina* (Pallas, 1772) из семейства Бражники (Sphingidae). Была обнаружена Т. И. Кочуровой 19 июля 2023 г. в здании администрации заповедника «Нургуш» в с. Боровка Котельничского р-на (определение С. В. Пестова). Предположительно, гусеница была принесена с лекарственными растениями (в частности, с иван-чаем узколистным (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., 1771), заготовка которых в это время проводилась сотрудниками заповедника.

Бабочка прозерпины имеет размах крыльев 40–45 мм. Передние крылья серо-зеленые с широкой оливково-зеленой перевязью посередине, внешний край их заметно изрезан. Задние крылья охряно-желтые с широким черноватым внешним краем. Бабочки летают ночью в конце мая – июне. Предпочитают хорошо прогреваемые места, склоны южных экспозиций. Гусеница зеленая или буро-серая с черным рисунком и черными косыми полосками на боках. Питается на кипрее (*Epilobium* sp.), ослиннике (*Oenotera* sp.), дербеннике (*Lytrum* sp.). Зимует куколка [5].

Вид распространён в Центральной и Южной Европе, Закавказье, Приуралье, Средней Азии, Казахстане, Иране, Восточном Афганистане, Северо-Западном Китае. В России обитает на юге европейской части, в ходе миграции залетая на север. Встречается на сопредельных с Кировской областью территориях. Вид занесен в региональные Красные книги Республики Татарстан и Нижегородской области. Включен в Красную книгу Кировской области как редкий малочисленный вид (III категория) [5].

В Кировской области по литературным данным [5] известны две находки С. П. Решетникова. Одна гусеница встречена на кипрее в июле 1976 г. в

Советском районе, одна бабочка поймана ночью на свет 20 мая 2013 г. в окрестностях д. Кулыги Вятскополянского района. В нашем регионе вид находится на северном пределе распространения, в морозные и малоснежные зимы куколки вымерзают [5].

По мнению авторов, находка личинки прозерпины в центральной части Кировской области подтверждает современное присутствие вида в регионе, свидетельствует о постоянном обитании (размножении) и позволяет сделать предположение о продвижении границы ареала к северу. В перспективе планируется проведение исследований по уточнению места обитания вида в окрестностях с. Боровка и на территории заповедника.

Оленек обыкновенный может быть рекомендован для включения в следующее издание Красной книги Кировской области. Для уточнения охранного статуса требуются дополнительные исследования и поиск новых мест обитания данного вида в южных районах области.

Библиографический список

1. Красная книга Республики Татарстан: животные, растения, грибы. Изд. 3-е. Казань : Идел-Пресс, 2016. 760 с.
2. Красная книга Удмуртской республики. Чебоксары : Перфектум, 2012. 458 с.
3. Берлов Э. Я., Кабакова О. Н. Атлас рогачей (Lucanidae) России [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/rus/lucanida.htm> (дата обращения: 10.10.2023).
4. *Dorcus parallelipedus* / K. N. A. Alexander, I. Mannerkoski, R. Pettersson, F. Mason, J. Schmidl // The IUCN Red List of Threatened Species. 2010.
5. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. Изд. 2-е. Киров : Кировская областная типография, 2014. 336 с.

РОСТ И ПЛОДОВИТОСТЬ СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ (*CARASSIUS GIBELIO*), РАСПРОСТРАНЕННОГО В АЙДАР-АРНАСАЙСКОЙ СИСТЕМЕ ОЗЕР

*А. К. Куватов*¹, *А. А. Бекбергенов*², *Ф. Р. Азадбаева*²

¹ *Институт зоологии Академии наук Республики Узбекистан,
asqarquvatovxabb@mail.ru,*

² *Национальный университет Узбекистана*

В статье приводятся данные по размерно-возрастному составу и плодовитости серебряного карася Айдар-Арнасайской системы озер. Установлено, что абсолютная плодовитость серебряного карася в возрасте 1+ и 2+, длиной тела 16,6–20,0 см составила от 3500 до 26730 икринок.

Ключевые слова: Айдар-Арнасайская система озер, серебряный карась, *Carassius gibelio*, рост, плодовитость, корреляция.

Первичные сведения об естественном распространении карася серебряного (*Carassius gibelio*, (Bloch, 1782)) наблюдаются в работах К. Ф. Кесслера

[1]. По данным Л. С. Берга [2], серебряный карась и золотой карась вместе встречаются в водных бассейнах рек Лена, Колымы и Амура, некоторых реках Сахалина, а в водоемах Кореи встречается только вид серебряный карась (*Carassius gibelio*).

В Узбекистане серебряный карась встречается в естественных озерах дельты Амударьи [2]. В 50–60 годах прошлого века данный вид был завезен из водоемов России и акклиматизирован к водным условиям нашей республики [3]. В настоящее время широко распространен почти во всех водоемах Узбекистана [4–9].

Ихтиологический материал был собран в течение 2019–2022 гг. из озер Айдар, Арнасай и Тузкан из Айдар-Арнасайской системы озер (рис. 1). Были использованы 22 образца серебряного карася в возрасте 1+ и 2+, длиной $TL = 15,1–23,3$ см и $l = 13,1–20,2$ см (в среднем 15,6 см).

Определение параметров образцов рыб и камеральная обработка осуществлялась на основе общепринятых методов [10]. Определение отличий корреляционных показателей между признаками осуществлялось по Г. Ф. Лакину [11].



Рис. 1. Точки сбора ихтиологического материала

Научные исследования проводились в разных частях Айдар-Арнасайской системы озер с 1+ и 2+ летними образцами серебряного карася, длиной $l = 13,1–20,2$ см и весом 50–195 г (табл. 1).

Таблица 1

**Размерно-возрастные показатели серебряного карася
в Айдар-Арнасайской системе озер**

Возраст	l , см	Q , г	N
1+	13,1–19,2	50–180	16
2+	14,2–20,2	90–195	6

Примечание: l – длина рыбы, Q – вес рыбы, n – количество образцов.

Размер, возраст и коэффициенты упитанности серебряного карася представлены в таблице 2.

Таблица 2

Размер и возрастные показатели, а также коэффициенты упитанности серебряного карася в Айдар-Арнасайской системе озер

T	l , мм	Q , гр	$СК_F$	$СК_K$	n
1+	$\frac{131-192}{155}$	$\frac{50-180}{101,5}$	$\frac{1,82-3,46}{2,62}$	$\frac{1,61-2,46}{2,02}$	16
2+	$\frac{142-202}{186,5}$	$\frac{90-195}{139,1}$	$\frac{2,67-3,97}{3,40}$	$\frac{1,45-3,50}{2,62}$	6

Примечание: t – возраст рыбы; l – длина тела, мм; Q – вес тела, г; $СК_F$ – коэффициент упитанности по Фультону; $СК_K$ – коэффициент упитанности по Кларку; n – количество образцов.

В наших исследованиях по определению корреляции между длиной и весом тела серебряного карася выявлены низкие результаты ($r = 0,437$) (рис. 2).

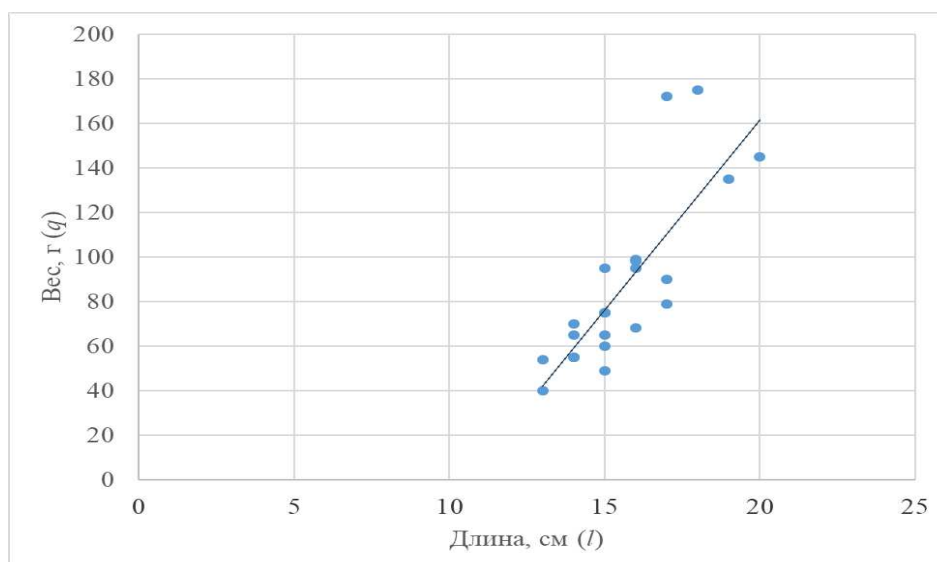


Рис. 2. Взаимосвязь длины тела и веса серебряного карася (значимость корреляции $P < 0,05$)

В Айдар-Арнасайской системе озер индивидуальная абсолютная плодовитость серебряного карася в возрасте 1+ и 2+ при длине тела 16,6–20,0 см, составляла от 3500 до 26730 икринок. Корреляция между индивидуальной абсолютной плодовитостью, размером и весом серебряного карася не была обнаружена (рис. 3 и 4).

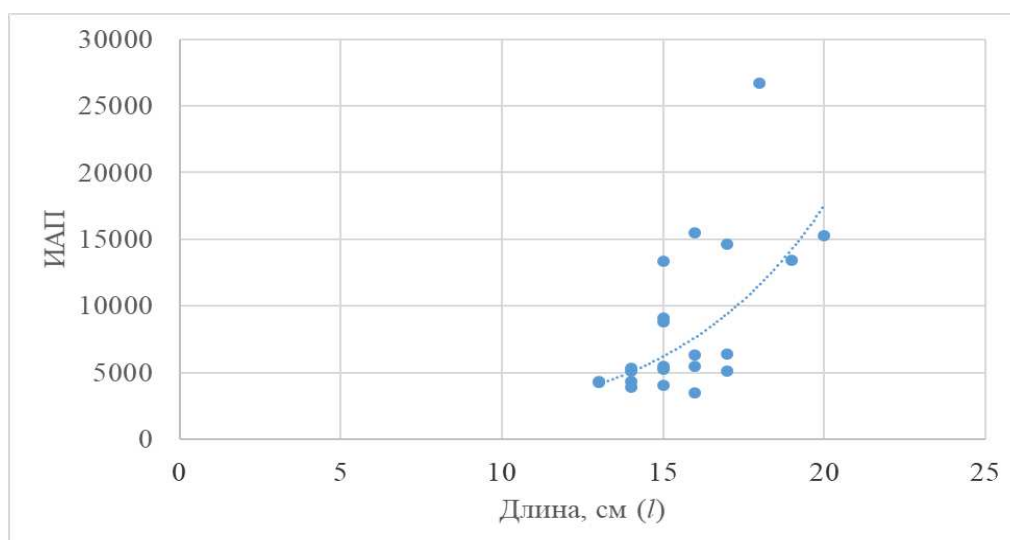


Рис. 3. Взаимосвязь между индивидуальной абсолютной плодовитостью и длиной тела серебряного карася ($r = 0,160$)

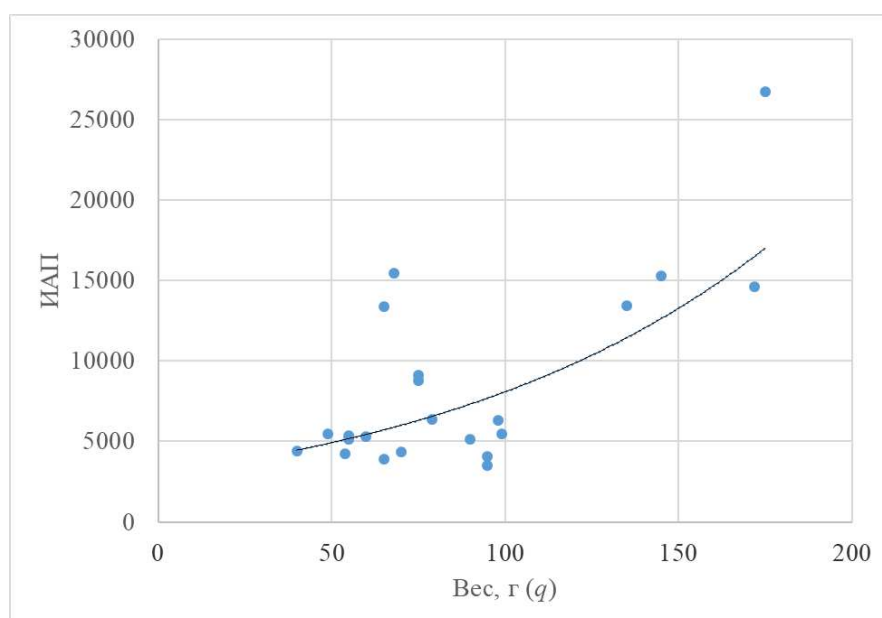


Рис. 4. Взаимосвязь между индивидуальной абсолютной плодовитостью и весом тела серебряного карася ($r = 0,256$)

Таким образом, установлено, что индивидуальная абсолютная плодовитость самок серебряного карася в Айдар-Арнасайской системе озер не связана с массой и длиной его тела. При этом при увеличении массы и длины тела увеличения количества зрелых икринок не наблюдалось.

Выводы. В Айдар-Арнасайской системе озер встречаемость в стаях серебряного карася большинства одно- и двулетних индивидов свидетельствует об их малочисленности и большом отлове взрослых особей.

Выявлено, что индивидуальная абсолютная плодовитость серебряного карася изменяется независимо от длины и веса рыбы. Такая ситуация, по нашему мнению, объясняется возрастными особенностями и низкой скоростью роста рыб.

Библиографический список

1. Кесслер К. Ф. Путешествие с зоологической целью к северному берегу Черного моря и в Крым. Киев, 1860. 116 с.
2. Берг Л. С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 2. М., 1949. С. 828–829.
3. Аманов А. А., Холматов Н. М., Сибирцева Л. К. Акклиматизированные рыбы водоемов Узбекистана. Ташкент : Фан, 1990. 116 с.
4. Атамуратова М. Ш. Ихтиофауна водоемов реки Ахангаран : автореф. дис. ... д-ра фил. по биол. наука. Ташкент, 2021. 20 с.
5. Мирабдуллаев И. М., Мирзаев У. Т., Хегай В. Н. Определитель рыб Узбекистана. 2-е издание. Ташкент: Хорезм, 2002. 102 с.
6. Атамуратова М. Ш., Куватов А. К., Азизов Н. Я. Ихтиофауна озера Тузкан // Вестник Хорезмской Академии Мамуна. 2022. № 5/1. С. 50–51.
7. Озеро Айдаркуль – современное состояние водных биоценозов / З. А. Мустафаева, А. К. Куватов, Н. Я. Азизов, У. Т. Мирзаев // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 56. № 2. С. 5–14.
8. Куватов А. К. Ихтиофауна Учкызылского водохранилища // Современные проблемы экологии и охраны окружающей среды и биотехнологии : материалы междунар. конф. Ташкент, 2022. С. 63–65.
9. Quvatov A. Q., Mirzayev U. T., Atamuratova M. Sh. Annotated list of fishes of the Chirchik river, Uzbekistan // Research and education. 2022. Vol. 1. P. 84–94.
10. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. 4-е изд. М. : Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
11. Лакин Г. Ф. Биометрия : учебное пособие для биол. спец. вузов. 4-е изд. М., 1990. 352 с.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МИКРОМАММАЛИЙ В ЗАПОВЕДНИКЕ «ЦЕНТРАЛЬНОСИБИРСКИЙ» В ПОЛЕВОЙ СЕЗОН 2023 г.

С. А. Лимендова¹, Д. С. Зарубин¹, К. Д. Огородникова²

*¹ Государственный природный заповедник «Центральносибирский»,
limendova@mail.ru,*

² Вятский государственный агротехнологический университет

В статье представлены результаты учёта микромаммалий в полевой сезон 2023 г. на территории заповедника «Центральносибирский» и сопредельных территорий. Зарегистрировано 10 видов мелких млекопитающих, принадлежащие к 2-м отрядам: Insectivora и Rodentia. Отмечено продолжение спада численности мелких млекопитающих на территории заповедника.

Ключевые слова: заповедник «Центральносибирский», микромаммалии, насекомоядные, грызуны, учёты.

Центральносибирский заповедник располагается на западной окраине центральной части Средне-Сибирского плоскогорья и в долине среднего течения р. Енисей. Основной целью его создания (в 1985 г.) служит сохранение

и изучение разнообразных природных комплексов среднетаёжной Сибири в её центральной части.

Учёт мелких млекопитающих средней енисейской тайги начали проводить еще с 1971 г. в районе Енисейской экологической станции «Мирное» ИПЭЭ имени А. Н. Северцева РАН. На правом берегу Енисея использовали 21 стационарную ловчую канавку, работы продолжались более 30 лет [1]. С 1986 г. исследования велись уже на территории самого заповедника «Центральносибирский» путём закладывания ловчих канавок, а с 1991 г. начали использовать давилки (плашки, ловушки Геро) [2].

Повышенный интерес к изучению динамики численности и видового разнообразия микромаммалей проявляется из-за того, что мышевидные грызуны и землеройки являются важной составной частью трофической цепи наземных хищников, в том числе и соболя (*Martes zibellina*) – ценного пушного зверя, представляющего социальную значимость для коренных народов Туруханского и Эвенкийского районов. Заповедник «Центральносибирский» служит для данного представителя семейства куньих одним из крупнейших резерватов в мире.

В 2011–2013 гг. была проведена инвентаризация, в ходе которой был сформирован аннотированный список мелких млекопитающих, представленный 28 видами, включающий в себя отряды: насекомоядные (Insectivora) – 10 видов, грызуны (Rodentia) – 13 видов, зайцеобразные (Lagomorpha) – 1 вид и рукокрылые (Chiroptera) – 4 вида [1]. В настоящее время учёты мелких млекопитающих проводятся ежегодно с целью обновления кадастровых данных. Учёт видов отряда рукокрылых и летяги (*Pteromys volans*) проводится не систематически.

Для выявления видового состава и количественного обилия мелких млекопитающих, использовались две основных методики отлова: учёт ловушко-линиями с применением ловушек Геро [3–5] и методика отлова цилиндрами с помощью ловчих канавок [3–5]. Отловленные зверьки, в большинстве случаев, попадались именно в ловчие цилиндры. Видовая принадлежность определялась с помощью справочника-определителя [6]. У пойманных зверьков проводилось вскрытие с целью определения пола. Показатель обилия микромаммалей рассчитывался согласно классической методике [3].

Учет мелких млекопитающих в полевой сезон 2023 г. проводился в период с 26 июня по 7 августа, в окрестностях трёх обособленных участков – кордонов: «Комса» (левый берег р. Енисей), «Лебедь» (правый берег р. Енисей) и «Столбовая» (правый берег р. Подкаменная Тунгуска), а также на сопредельных территориях – месте гари (Гуреевская коса).

На кордоне «Комса» заложено 7 ловчих канавок в 5 разных биотопах: смешанном лесу с преобладанием березы, сосняке, сосняке зеленомошном, ельнике, смешанном лесу. На кордоне «Лебедь» заложено 7 ловчих канавок в 7 разных биотопах: ельнике, смешанном лесу, березняке, молодом кедровнике, сосняке кедровом, пойме р. Енисей и заросшем антропогенном лугу. На кордоне «Столбовая» заложено 5 ловчих канавок в 5 различных биотопах:

березняке, осиннике, ельнике, заросшем антропогенном лугу и пойме р. Подкаменная Тунгуска. На Гуреевской косе заложена 1 канавка.

В результате проведенных исследований зарегистрировано 10 видов мелких млекопитающих в количестве 145 экземпляров (табл.), принадлежащих к двум отрядам – Insectivora – 118 особей (81,4%) и Rodentia – 27 (18,6%), их процентное соотношение составило 1:4. Из отловленных микромаммалий в отряде насекомоядные процентное количество самцов составило – 52,1%, самок – 47,9%, в отряде грызуны – соответственно, 84,6% и 15,4%.

Таблица

Результаты учёта микромаммалий на территории заповедника и сопредельных территорий

Вид	Количество особей				
	«Комса»	«Лебедь»	«Столбовая»	Место гари	Всего (%)
<i>Clethrionomys glareolus</i>	1	–	–	1	2(1,4)
<i>Clethrionomys rutilus</i>	2	1	–	2	5(3,4)
<i>Clethrionomys rufocanus</i>	8	4	–	–	12(8,3)
<i>Microtus oeconomus</i>	4	3	–	–	7(4,8)
<i>Sicita betulina</i>	–	–	–	1	1(0,7)
<i>Sorex araneus</i>	9	4	4	1	18(12,4)
<i>Sorex caecutiens</i>	29	27	20	2	78(53,8)
<i>Sorex isodon</i>	–	1	–	–	1(0,7)
<i>Sorex minutus</i>	–	–	2	–	2(1,4)
<i>Sorex spp.</i>	–	4	14	–	18(12,4)
<i>Talpa altaica</i>	–	–	–	1	1(0,7)
Всего:	53	44	40	8	145

Абсолютным доминантом на всех исследуемых участках явилась бурозубка средняя (*Sorex caecutiens*), второй по проценту встречаемости – бурозубка обыкновенная (*Sorex araneus*), далее полевка красно-серая (*Clethrionomys rufocanus*). В прошлом полевом сезоне доминировала красная полевка (*Clethrionomys rutilus*), а численность содоминанта – красно-серой полевки – была довольно низкой, причем она отсутствовала на левом берегу р. Енисей. Более полная структура мелких млекопитающих, по числу доминирующих видов в отрядах, представлена на рисунке 1.

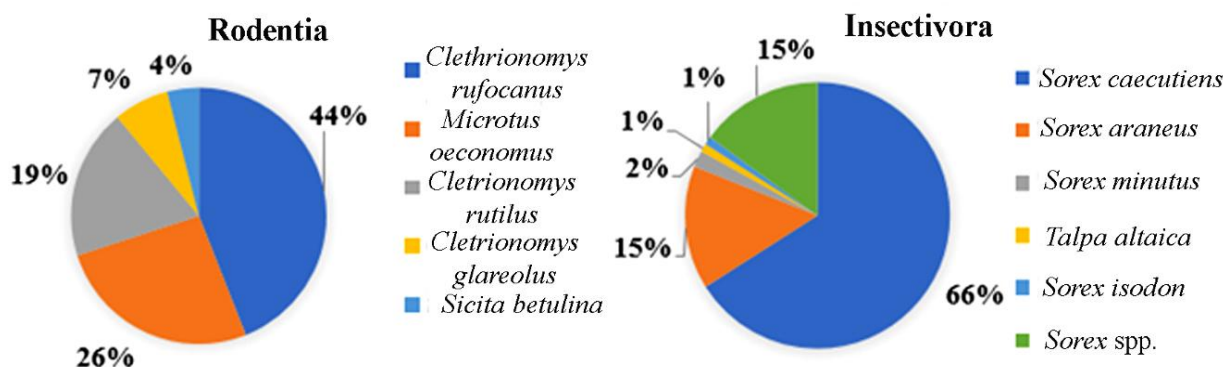


Рис. 1. Видовая структура микромаммалий в отрядах Rodentia и Insectivora

В отряде Rodentia преобладали полёвка красно-серая – 44%, полёвка-экономка (*Microtus oeconomus*) – 26%, полёвка красная – 19%; далее, в порядке убывания, – полёвка рыжая (*Cletrionomys glareolus*), мышовка лесная (*Sicita betulina*).

В отряде Insectivora наиболее регистрируемым видом явилась бурозубка средняя – 66%, в 4 раза меньше (15%) – бурозубка обыкновенная, остальные виды – менее 3%. Некоторых особей (15%) определить не удалось из-за утраты целостности тушки животного, вследствие поедания их хищниками, а также явления каннибализма, особенно распространенного среди семейства Soricidae.

Численность бурозубок, отловленных в полевой сезон 2023 г., оказалась выше численности мышевидных грызунов более, чем в 4 раза на всех исследуемых участках. Тенденция к превышению численности насекомоядных над грызунами прослеживается в ряде исследований прошлых лет; анализируя их, можно построить тренд численности двух основных групп микромаммалей за исследуемые годы (рис. 2). А. Н. Зырянов отмечал, такая ситуация возникает из-за схожих (практически одинаковых) биотопов, занимаемых одновременно бурозубками и грызунами [7], а А. Сапогов и Б. Шефтель в своих сообщениях описывали взаимозависимую динамику численности отрядов Rodentia и Insectivora [8, 9]. Подобный спад численности мышевидных грызунов приводит к снижению обилия соболя на больших пространствах средней тайги, что подтверждают зимние маршрутные учёты (например, в 2014 г.) [7].

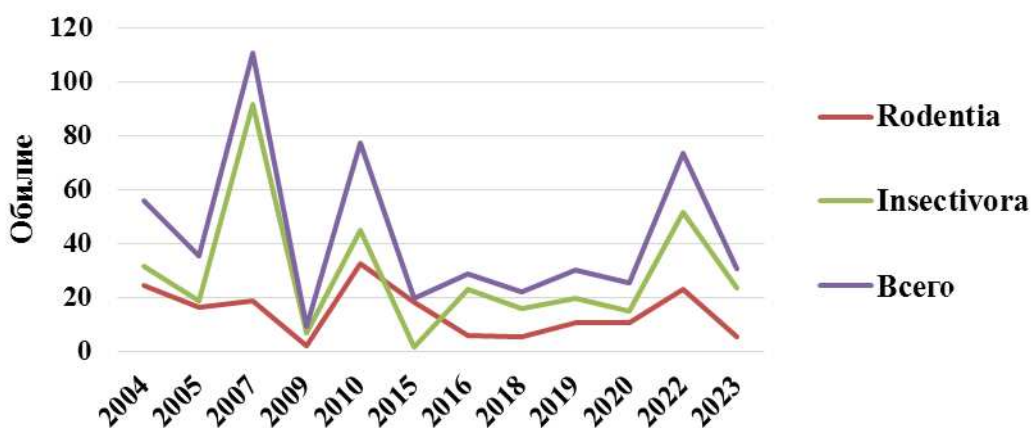


Рис. 2. Динамика обилия насекомоядных и грызунов за период проведения учётов в заповеднике «Центральносибирский»

Итак, в 2023 г., как и в прошлый полевой сезон, продолжался спад численности мелких млекопитающих, вызванный, вероятно, низкой средней температурой воздуха в летний период, а также недостатком кормовой базы. По результатам опроса инспекторского состава в 2023 г. была отмечена низкая урожайность грибов, ягод и шишек – основных кормовых ресурсов насекомоядных и грызунов. Зарегистрированные в прошлом году изменения в структуре сообщества мелких млекопитающих, а именно выход в доминанты малой бурозубки (*Sorex minutus*) и крошечной бурозубки (*Sorex minutissimus*),

являющимися видами – эксплерентами (их численность начинает расти, только в период регрессии многочисленных видов), в этом году показали обратные результаты. Их отсутствие в отловах на правом и левом берегу р. Енисей говорит о том, что ранее многочисленные виды восстанавливают свою численность. В 2022 г. наблюдалась низкая численность (единичные встречи) бурозубки обыкновенной (*Sorex araneus*), ранее доминирующей на левом берегу Енисей, сейчас же она явилась субдоминантом после бурозубки средней (*Sorex caecutiens*), преобладавшей и в прошлом году. Подобные изменения в структуре сообщества мелких млекопитающих могут быть вызваны внешними глобальными факторами [10].

Следует отметить, что в отловах на участках заповедной зоны ни разу не был отловлен эндемик центральной части Сибири – крот сибирский (*Talpa altaica*), он был зарегистрирован в количестве одной особи на месте гари. Среди видов, незарегистрированных в прошлом полевом сезоне, можно отметить мышовку лесную (*Sicita betulina*). Непостоянный видовой состав микромаммалий обусловлен редкими встречами малочисленных видов, регистрируемых не каждый год.

Таким образом, в результате учётов в 2023 г., наблюдается спад численности мелких млекопитающих, вызванный, вероятно, низкой средней температурой воздуха в летний период, а также недостатком кормовой базы. Превышение числа насекомоядных в более, чем 4 раза над грызунами. Рост численности ранее многочисленного вида – бурозубки обыкновенной – и отсутствие видов эксплерентов. Отмечен вид, незарегистрированный в прошлом полевом сезоне – мышовка лесная.

Библиографический список

1. Шефтель Б. И. Аннотированный список млекопитающих. Мелкие млекопитающие // Труды государственного заповедника «Центральносибирский». Красноярск : ООО «Поликор», 2012. Вып. 2(4). С. 68–77.
2. Назарова А. В. Экология мелких млекопитающих Центральносибирского заповедника // Летопись природы государственного заповедника «Центральносибирский» Книга 4 (за 1991 год). Бор, 1992. С. 213–225.
3. Карасева Е. В., Телицына А. Ю., Жигальских О. А. Методы изучения грызунов в полевых условиях. М. : Изд-во ЛКИ, 2008. 416 с.
4. Попов В. А. О стандартизации методики учета мелких млекопитающих и мышевидных грызунов // Материалы по грызунам: Фауна и экология грызунов. М. : Изд-во МГУ, 1967. Вып. 8. С. 197–202.
5. Тимошкина О. А. Методы полевых исследований мелких млекопитающих : метод. указания. Красноярск, 2012. 20 с.
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. Зырянов А. Н. Летний учет мелких млекопитающих // Летопись природы государственного заповедника «Центральносибирский» Книга 27 (за 2014 г.). Бор, 2015. С. 110–111.
8. Сапогов А. В. Зональные особенности населения мышевидных грызунов Енисейской тайги // Животный мир Енисейской тайги и лесотундры и природная зональность. М., 1983. С. 204–215.

9. Шефтель Б. И. Зональные особенности населения насекомоядных млекопитающих Енисейской тайги и лесотундры // Животный мир Енисейской тайги и лесотундры и природная зональность. М., 1983. С. 184–204.

10. Забелин М. М. Экологический мониторинг состояния сообществ мелких млекопитающих на территории Центральносибирского заповедника в 2022 году // Биосферное хозяйство: теория и практика. Иркутск, 2023. № 2 (55) С. 123–131.

ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA, PAPILIONOIDEA) В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Мазеева, О. И. Кулакова, А. Г. Татаринов
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, mazeeva@yandex.ru

В работе анализируется современное состояние видов булавоусых чешуекрылых, включенных во второе издание Красной книги Кировской области (2014), даны рекомендации по актуализации списка.

Ключевые слова: булавоусые чешуекрылые, Papilionoidea, Красная книга, Кировская область.

Фрагментация и уничтожение местообитаний, их антропогенная трансформация, приводящие к уничтожению популяций приуроченных к ним видов растений и животных, глобальное изменение климата и другие угрозы биоразнообразию делают мониторинг численности редких видов и их охрану, в том числе актуализацию региональных Красных книг (далее КК), одной из первостепенных задач охраны природы. Высокая степень антропогенной трансформации сообществ Кировской области, сравнительно низкий процент площади, занятой особо охраняемыми природными территориями (ООПТ), значительное число видов на границах ареалов и редких видов, в том числе охраняемых в соседних регионах и имеющих низкую численность на исследуемой территории, обуславливают необходимость мониторинга численности и охраны в том числе и булавоусых чешуекрылых.

Булавоусые чешуекрылые (Lepidoptera, Papilionoidea) отличаются широким распространением, высоким миграционным потенциалом, выраженной биотопической приуроченностью, хорошей систематической изученностью и благодаря короткому жизненному циклу быстро реагируют на изменения окружающей среды, в том числе вызванные действием антропогенного фактора. Таким образом, популяции многих видов бабочек в Кировской области оказываются под угрозой в первую очередь из-за уничтожения местообитаний, а их численность и распространение в регионе претерпевают изменения.

Второе издание Красной книги Кировской области [1] включает три охраняемых вида булавоусых чешуекрылых – парусников *Parnassius mnemosyne* (III категория), *P. apollo* (II категория), голубянку *Scolitantides orion* (II категория). В списке видов, нуждающихся на территории области в постоянном контроле и наблюдении (Приложение 2) – 18 представителей

надсемейства Papilionoidea. В связи с накопленными за последнее десятилетие новыми материалами по экологии и распространению булавоусых чешуекрылых на территории области данные списки требуют критического анализа, а все необходимые изменения и дополнения должны быть учтены при подготовке третьего издания КК, анонсированного на 2025 г.

Парусник *P. apollo* включен в КК Российской Федерации [2] с категорией 2 (сокращающийся в численности и/или распространении вид; У – уязвимый (в России по шкале МСОП – VU A4c); III приоритет природоохранных мер) и охраняется в сопредельных с Кировской областью Пермском крае, Удмуртской республике, Республиках Татарстан и Марий Эл, Нижегородской и Вологодской областях [3–8]. На территории Кировской области к настоящему времени достоверно установлены девять локальных местонахождений вида, преимущественно в южных районах. В региональной КК парусник *P. apollo* отнесён к категории сокращающихся в численности видов. Численность всех выявленных локальных популяций низкая, однако регулярных мониторинговых наблюдений за ними не проводилось, поэтому сложно судить о её динамике в последние десятилетия. По нашим наблюдениям популяция парусника *P. apollo* в Медведском бору, известная ещё со времён Л. К. Круликовского [9], в 2023 г. насчитывала в среднем 30 экз./га. Факторы, лимитирующие численность региональных популяций вида, не вполне ясны. В КК указываются ограниченность распространения в области кормового растения (очитков), сокращение и небольшое количество местообитаний. Однако это не совсем так. Распространение в области очитков, в том числе и основного кормового растения аполлона очитка едкого (*Sedum acre*), широкое [10], вполне достаточно и не испытывающих значительного антропогенного воздействия подходящих для вида местообитаний (просеки, опушки сухих сосновых боров). Очевидно, что основные причины локального распространения и низкой численности парусника *P. apollo* иные и ещё должны быть установлены. С учётом выше сказанного можно было бы рекомендовать изменить статус редкости вида в третьем издании региональной Красной книги на I категорию.

Парусник *P. tnetosyne* включен в списки охраняемых и бионадзорных видов 50 субъектов европейской части России, однако из второго издания КК Российской Федерации был исключен. В Кировской области этот вид распространен шире парусника *P. apollo*, в разной численности он выявлен практически на всей её территории, включая крайне северные и восточные районы. В Подосиновском районе, в том числе в заказнике «Былина», установлена многочисленная группировка [11], которая, по всей видимости, является частью мощной видовой метапопуляции, ареал которой охватывает всю ландшафтную область Северных Увалов. Стабильная численность вида на севере области обусловлена хорошей представленностью здесь кормового растения гусениц (хохлаток, *Corydalis* sp.) и расширением площади доступных местообитаний с относительно низкой антропогенной нагрузкой на месте заброшенных деревень и агроценозов. В третьем издании КК Кировской области

предлагается сохранить статус парусника *P. mnemosyne* как редкого вида, однако требуется организовать мониторинг южных популяционных группировок, чтобы получить представление о тенденциях многолетних изменений их численности.

Голубянка *S. orion* в состав региональной фауны включена на основании находок единичных экз. в пос. Медведок Нолинского р-на в 1969 г. и 1989 г., а также находки одного экз. в 1998 г. у пгт. Кильмезь [12, 13]. В третьем издании КК Кировской области предлагается перевести её из списка охраняемых видов в список бионадзора до получения дополнительных материалов по распространению и экологии популяций и выявления лимитирующих факторов их численности.

Нуждающиеся на территории Кировской области в постоянном контроле и наблюдении булавоусые чешуекрылые могут быть разделены на две группы. К первой принадлежат гипоаркто-бореальные желтушка *Colias palaeno*, перламутровка *Boloria aquilonaris*, сатириды *Coenonympha tullia*, *Erebia embla*, *Oeneis jutta*, связанные с болотными местообитаниями. Их численность и встречаемость отличается. Так, желтушка *C. palaeno* в небольшой, но стабильной численности (в среднем 22 экз./га) встречается на сфагновых болотах и вблизи них. В тех же местообитаниях, но гораздо реже, со стабильно низкой численностью (не более 5–7 экз./га) встречается и перламутровка *B. aquilonaris*. Три других болотных вида – *C. tullia*, *E. embla*, *Oe. jutta* – известны только по литературным данным [12–16] и нами зарегистрированы не были. Отсутствие этих видов на болотах области объясняется, скорее всего, естественно-историческими причинами. Тем не менее нельзя исключать и негативное влияние антропогенных факторов. Так, единственное известное болотное местообитание сатириды *Oe. jutta*, из которого она и была приведена для региона [12], оказалось уничтоженным на рубеже XX и XXI веков (С. П. Решетников, устное сообщение). Если всё-таки будет выявлена популяция этого вида, он обязательно должен быть взят под охрану со статусом редкости I. Перламутровку *B. aquilonaris*, охраняющуюся в Вологодской (3 (LC)), Тверской (3), Ярославской (3), Московской (2), Владимирской (3), Ивановской (3), Калужской (1), Нижегородской (B2) областях, Чувашии (I), Башкирии (III), Удмуртии (бионадзор) и чернушку *E. embla*, взятую под охрану в Нижегородской области (A) и уже включавшуюся в основной список КК Кировской области в первом издании [15], можно уже сейчас рекомендовать к включению в основной список КК со статусом редкости III. Мониторинг численности желтушки *C. palaeno* и поиск новых мест обитания сенницы *C. tullia* должны быть продолжены, для чего рекомендуется их сохранение в списке бионадзора.

Вторая группа булавоусых чешуекрылых, входящих в список бионадзора, образована видами, находящимися в области на северной границе или периферии ареала. Часть из них – голубянка *Phengaris teleius*, сатириды *Minois dryas* и *Chazara briseis* – не регистрировались более столетия и, вероятно, уже исчезли с

территории Кировской области. В связи с этим их следует исключить из списка нуждающиеся в постоянном контроле и наблюдении видов.

Еще три вида также можно рекомендовать к исключению из списка бионадзора, но по иным причинам: явные угрозы состоянию их популяционных группировок в области отсутствуют. Численность парусника *Iphiclides podalirius* относительно невысокая, тем не менее за последние десятилетия этот вид значительно продвинулся в северном направлении. Сатирида *Melanargia russiae* также активно расширяет ареал, поэтому можно ожидать, что у данного вида сформируются постоянные популяции как минимум на юге области. Популяции опушечно-лесной сеницы *Coenonympha hero* в ходе наших исследований обнаружены практически во всех исследованных локальных фаунах, её численность в некоторых популяциях (локальная фауна Суны) доходит до 32 экз./га, и при этом достаточно стабильна.

По результатам наших исследований два вида голубянок из этой части списка бионадзора мы рекомендуем перенести в основной список КК. Голубянка *Phengaris alcon* находится в регионе на северной границе ареала, зарегистрирован всего в нескольких локальных фаунах, где имеет небольшую численность, в том числе, вероятно, и из-за особенностей биологии: питания гусениц на горечавках (*Gentiana*), в частности *G. pulmonarium* [17], в регионе очень редкой и охраняемой (III категория), в том числе из-за нарушения местообитаний [1], а также, вероятно, *G. cruciata* [18], мирмикофилии (после зимовки живёт в гнёздах муравьёв *Myrmica rubra*, *M. ruginodis*, *M. scabrinodis*) [17, 19]. Охраняется в Ленинградской (категория 3), Псковской (2), Вологодской (бионадзор), Тверской (1), Московской (1), Калужской (1), Рязанской (2), Нижегородской (B1) областях, Чувашии (III) и Удмуртии (бионадзор).

Голубянка *Phengaris arion* менее избирателен в кормовых растениях (олигофаг Яснотковых), питается на тимьяне (*Thymus*), душице обыкновенной, черноголовке обыкновенной [20], но также является мирмикофилом, причем из зарегистрированных в Кировской области [14] контактирует с муравьями только одного вида – *Myrmica scabrinodis* [19], в гнёздах которого хищничает [17]. Включен в список видов находящихся в состоянии близком у угрожаемому (NT) в списке МСОП [21]. Охраняется в Ленинградской (категория 3), Вологодской (3 (VU)), Псковской (2), Тверской (1), Ярославской (2), Брянской (2), Владимирской (3), Калужской (1), Нижегородской (B1) обл., Удмуртии (3), Чувашии (III), Тюменской (3) обл., включен в список бионадзора в Карелии, Московской обл.

Мониторинговые наблюдения за популяциями таких видов как голубянки *Aricia nicias*, *Lycaena alciphron*, переливница *Apatura iris*, перламутровка *Clossiana selenis*, *Argynnis laodice* должны быть продолжены.

Совершенно очевидно, что список бионадзора в новом издании КК должен быть пополнен новыми видами. В качестве кандидатов к включению в него предлагаются в первую очередь редкие виды с низкой численностью, многие из которых находятся на северной границе своих ареалов. Это толсто-

головка *Carcharodus flocciferus*, голубянки *Nordmannia spini*, *N. w-album*, *Lycaena helle*, *L. tityrus*, перламутровка *Clossiana thore*, шашечницы *Euphydryas intermedia*, *Melitaea cinxia*, сатириды *Lasiommata petropolitana*, *Coenonympha arcania*, *Erebia euryale*. Регулярные наблюдения за выявленными популяциями в ходе ведения региональной КК позволять проследить основные тенденции динамики их численности, установить лимитирующие факторы и при необходимости принять решение о включении в список охраняемых видов.

Таким образом в третьем издании КК Кировской области мы рекомендуем включить в основной список шесть видов булавоусых чешуекрылых (*P. mnemosyne* (III), *P. apollo* (I), *P. alcon* (III), *P. arion* (III), *B. aquilonaris* (III), *E. embla* (III)), а в список бионадзора 20 видов (*C. flocciferus*, *C. palaeno*, *N. spini*, *N. w-album*, *L. alciphron*, *L. helle*, *L. tityrus*, *S. orion*, *A. nicias*, *A. iris*, *E. intermedia*, *M. cinxia*, *C. selenis*, *C. thore*, *A. laodice*, *L. petropolitana*, *C. arcania*, *C. tullia*, *E. euryale*, *Oe. jutta*).

Библиографический список

1. Красная книга Кировской области. Изд. 2-е. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.
2. Красная книга Российской Федерации. том «Животные». 2-ое издание. М. : ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
3. Красная книга Пермского края. Пермь : Алдари, 2018. 232 с.
4. Красная книга Удмуртской Республики. Изд. 2-е. Чебоксары : «Перфектум», 2012. 458 с.
5. Красная книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы). Изд. 3-е. Казань : «Идел-Пресс», 2016. 760 с.
6. Красная книга Республики Марий Эл. Том «Животные». Йошкар-Ола : МарГУ, 2015. 256 с.
7. Красная книга Нижегородской области. Том 1. Животные. 2-е изд., перераб. и доп. Нижний Новгород : ДЕКОМ, 2014. 448 с.
8. Красная книга Вологодской области. Т. 3. Животные. Вологда : Полиграф-Книга, 2010. 216 с.
9. Круликовский Л. К. Чешуекрылые Вятской губернии // Материалы к познанию фауны и флоры Российской империи. Отдел зоологический. Вып. 9. М. : Типо-литография Товарищества И. Н. Кушнерев и КО, 1909. С. 48–250.
10. Определитель растений Кировской области. Часть 2. Киров : Обл. тип., 1975. 304 с.
11. Татаринов А. Г., Кулакова О. И., Мазеева А. В. Булавоусые чешуекрылые (Lepidoptera, Papilionoidea) комплексного заказника «Былина», Кировская область // Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье. Саратов, 2022. Вып. 19. С. 56–66.
12. Решетников С. П. Отряд Lepidoptera – Чешуекрылые // Животный мир Кировской области. Дополнение. Т. 5. Киров : Изд-во ВГПУ, 2001. С. 183–186.
13. Решетников С. П. Новые виды булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Diurna) с территории Кировской области и виды чешуекрылых, рекомендуемые для включения в Красную Книгу Кировской области // Материалы V межрегиональных зоологических чтений памяти ученого-естествоиспытателя С. В. Маракова. Киров, 2022. С. 58–61.
14. Животный мир Кировской области. Т. 2. Киров, 1974. 522 с.
15. Красная книга Кировской области. Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2001. 288 с.

16. Бакка С. В. Пестов С. В. Чешуекрылые (Lepidoptera) заповедника «Нургуш». Киров : ООО «Полиграфовна», 2021. 186 с.
17. Львовский А. Л., Моргун Д. В. Булавоусые чешуекрылые Восточной Европы. М. : КМК, 2007. 443 с.
18. Tshikolovets V. V. Butterflies of Europe & the Mediterranean area. Pardubice: Tshikolovets Publications, 2011. 544 p.
19. Страдомский Б. В. Голубянки подсемейства Polyommatinae Европейской России, Центрального и Западного Кавказа. Ростов-на-Дону, 2005. 148 с.
20. Шулаев Н. В., Петров Н. Г., Шулаев М. В. Булавоусые чешуекрылые Татарстана. Аннотированный список видов. Казань : Новое знание, 2005. 40 с.
21. The IUCN red list of threatened species [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.iucnredlist.org/> (дата обращения: 20.10.2023).

ПОЛОВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА *CANIS LUPUS* ПО ПРОМЫСЛОВОЙ ПРОБЕ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В. В. Масленникова, О. В. Масленникова
Вятский государственный агротехнологический университет,
olgamaslen@yandex.ru

В статье представлены материалы по анализу половозрастной структуры группировки волка Кировской области в сезон охоты 2022–2023 гг. в период с января по март в сравнении с более ранними данными по исследованию *Canis lupus*. Анализ свидетельствует о сравнительно молодой группировке волка. Даже среди взрослых животных преобладали 3-летние звери. Практически половину добытых зверей 48,3% были в возрасте до 2 лет. Соотношение по полу примерно одинаковое с небольшим преобладанием самок (50,9% и 49,1%).

Ключевые слова: волк, *Canis lupus*, добыча, пол, возраст, Кировская область

Различают 16 подвидов серого волка (*Canis lupus* L., 1758). На территории Кировской области обитает среднерусский или лесной волк. Средний вес матерого волка лесной полосы (самца) считают 40–45 кг, переярка (молодого, свыше 1 года) – 35 кг и прибылого около 25 кг. Наши данные подтверждают данный факт. В литературе описаны случаи добычи волков в 72 и даже 80 кг, что встречается крайне редко. За ряд лет наших исследований лишь один волк весил более 60 кг.

Пол молодого волка по внешнему виду определить сложно. Ясное различие во внешнем облике у волков наступает с половой зрелостью. Матерый волк выделяется крупным ростом и особо могучим телосложением. Он широколоб, поджар и массивен. Волчица менее широколоба, несколько по сравнению с самцом растянута, отчего кажется приземистее, и значительно меньше ростом. Форма лапы у волчицы более овальна. В ее зимнем наряде интенсив-

нее развиты ржаво-охристые оттенки. Чем старше волки, тем различия эти становятся нагляднее [1].

Численность волка определяется в основном по материалам зимнего маршрутного учета и, как правило, она оказывается заниженной. Об этом свидетельствуют факты добычи хищника, когда они превышают данные по его численности.

Принятые новые правила охоты ограничили сроки охоты на волка, необходимо стало брать разрешение для добычи хищника. Запретили охоту на логовах, когда изымались молодые. Охота на логовах помогала в определении численности волка на территориях, в настоящее время логова волков не отслеживаются, отсюда очень сильно занижена численность хищника. Так, в 2019 г. весной лесники в Фаленском районе случайно обнаружили логово волчицы с 10 щенками. Они сфотографировались с ними и ушли. К вечеру волчица перенесла молодых в другое логово. Так называемая «охрана» волка привела к довольно высокой численности хищника в области, и с 2015 г. он стал регулярно посещать населенные пункты, причем заходили в них целые стаи: они посещали свалки, уничтожали собак [2, 3].

В приказе № 477 от 24 июля 2020 г. были внесены поправки в новые правила охоты. Разрешенный срок охоты увеличили до 2 месяцев – с 1 августа по 31 марта. С 2022 года внедряется премия за добытого волка. Активность охотников заметно усилилась. В большинстве районов созданы бригады (до 30–50 человек) по борьбе с волком, заметно увеличилась добыча хищника.

Мы проанализировали свои данные и данные Управления охраны и использования животного мира, любезно предоставленные нам, за период с января по март 2023 г. по половозрастной структуре добытых волков.

Сокращение группировки волка на территории Кировской области в охотничий сезон 2023 г. составило 222 особи. Из 39 районов области в 30 районах зарегистрированы добытые хищники. Правда, в некоторых районах добыча волка носила случайный характер. В Опаринском районе в период с января по март добыта пара волков. Осенью 2022 г. в период добычи копытных и охоты на медведя с лабаза случайно было добыто еще 2 волка-самца – взрослый и сеголеток. В данном районе, по сообщениям охотников, волки в осенне-зимний период продолжают посещать населенные пункты и охотятся на собак.

Отсутствовали в добыче волки из следующих районов области: Омутнинский, Кирово-Чепецкий, Верхошижемский, Тужинский, Арбажский, Пижанский, Советский, Вятскополянский, Лебяжский. В основном это южные районы.

Хорошо поставлена борьба с волком в таких районах, как Афанасьевский (11 волков), Лузский (9), Даровской (11), Котельничский (15), Мурашинский (10), Нагорский (12), Подосиновский (9), Слободской (7), Оричевский (6), Фаленский (6), Яранский (12), Свечинский (9). Больше всего волка добыто в Шабалинском районе – 20 особей. В этих районах волки, как прави-

ло, уже не посещают населенные пункты, можно сказать, что численность группировки синантропных волков подорвана. В некоторых районах охотники получили премии за добытых волков, в других пока нет. В Лузском районе охотников – волчатников премируют выдачей разрешений на добычу копытных, в частности лося.

Группировка волка сразу же «откликнулась» на такой пресс со стороны человека. Это произошло в первую очередь в изменении половозрастной структуры хищника. Возраст хищника не всегда правильно определяют охотники. В выборке, состоящей из 116 особей, прибылых (сеголетков) было всего лишь 15 особей, что составляет всего 12,9%. Волки в возрасте 3 и старше составили 60 особей или 51,7%; волки в возрасте 1,5–2,5 лет – 35,4% (рис.). Большое количество двухгодовалых волков в Кировской области, по видимому, связано с крупными размерами и хорошей упитанностью хищника, когда прибылые принимались за переярков. По нашим данным при исследовании 100 волков на протяжении длительного периода (с 1997 г.) после их добычи охотниками, прибылых было 37%, переярков – 25%, взрослых – 38%, из них старше 4 лет – 6 особей.

По данным М. П. Павлова [4] в Кировской области среди 78 волков, обследованных во Всесоюзном научно-исследовательском институте охотничьего хозяйства и звероводства (ВНИИОЗ) после их отстрела (в основном, летом) или поимки в капканы за период с 1959 по 1979 гг., зверей в возрасте до года оказалось 40 (51%), старше года (переярков) – 13, в возрасте 2–3 лет – 17, старше 4 лет – 8. Н. Д. Сысоев [5] среди 435 волков, уничтоженных во Владимирской области, обнаружил матерых – 219 (50,4%), переярков – 81 (18,6%), прибылых – 135 (31%).

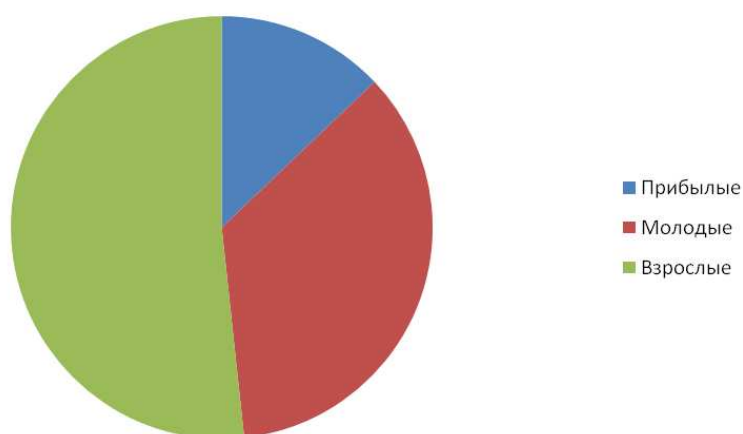


Рис. Соотношение возрастных категорий волка по промысловой пробе

При охоте на волка добывается, как правило, больше самцов. Самки ведут себя более осторожно и меньше попадают под выстрел. В исследованной нами выборке волков за ряд лет, самцов было 64%, самок – лишь 36%. Исследование половой структуры добытых волков в 2023 г. дало иные результаты: самок и самцов было примерно одинаково – на 59 самок пришлось 57 самцов (50,9% и 49,1% соответственно). Самки преобладали среди молодых живот-

ных – прибылых и переярок. Часто в парах со взрослым волком была самка-переярок. Особый интерес представляет добытая в прошлом охотничьем сезоне в Котельничском районе стая волков в количестве 8 особей. По сообщениям охотников одна волчица ушла. В данной стае преобладали самки: из 8 добытых зверей самцов было лишь два. Оба волка были взрослые, матерые. К сожалению, все они были без голов, поэтому точно определить возраст не удалось. Среди взрослых в данной стае была одна самка. Все остальные 5 самок были молодые, нерожавшие массой около 27–30 кг – переярки. У матерой самки на матке обнаружено 13 плодных пятен. По сравнению с молодыми самками она имела гораздо меньше как внутреннего жира, так и наружного.

Таким образом, анализ половозрастной структуры добытых волков свидетельствует о сравнительно молодой группировке волка. Даже среди взрослых животных преобладали 3-летние звери. Практически половину добытых зверей 48,3% были в возрасте до 2 лет. Соотношение по полу примерно одинаковое с небольшим преобладанием самок (50,9% и 49,1%), а среди молодых волков преобладали самки.

Библиографический список

1. Соколов А. А. Волк. М. : Заготиздат, 1951. 88 с.
2. Масленникова О. В., Масленникова В. В. Синантропизация вятского волка // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Киров : ФГБНУ ВНИИОЗ имени проф. Б. М. Житкова, 2022. С. 105–108.
3. 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. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2022. С. 393–396.
4. Павлов М. П. Волк. М. : Агропромиздат, 1990. 351 с.
5. Сысоев Н. Д. К биологической характеристике волка, обитающего на территории Владимирской области // Исследования по фауне Советского Союза: (Млекопитающие). М. : МГУ, 1968. С. 139–145.

ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЖАБРАХ ЛЕЩА ОБЫКНОВЕННОГО (*ABRAMIS BRAMA L.*)

Д. И. Мустакимова¹, Р. Ф. Хасанова²

¹ *Уфимский университет науки и технологий, sharanova1997@bk.ru,*

² *Сибайский институт (филиал)*

Уфимского университета науки и технологий, rezeda78@mail.ru

Представлены результаты изучения содержания тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Pb) в жабрах леща обыкновенного (*Abramis brama L.*).

Ключевые слова: тяжелые металлы, гидробионты, лещ обыкновенный (*Abramis brama L.*), жабры, река Сакмара.

Исследования последних лет свидетельствуют о том, что происходит не только организованное поступление тяжелых металлов (ТМ) в водные объекты, но и большое их техногенное рассеяние. ТМ поступают в водные объекты от разнообразных источников: внешних и внутренних [1].

К одним из основных составляющих водных экосистем, участвующих в пространственно-временном распределении ТМ относятся гидробионты. Рыбы, являясь доминирующими видами гидробионтов, и относящиеся к последнему звену трофической цепи, способны накапливать сверхкритические концентрации токсичных элементов [2, 3]. Они более чувствительны к воздействию ТМ на ранних стадиях развития. На последующих этапах развития их содержание в организме начинает возрастать пропорционально их концентрации в воде. После окончательного формирования органов экскреции и барьерных органов в организме рыб поглощение ТМ уступает свою главную роль активному биологическому транспорту металлов через барьерные органы [4]. Граница, где заканчивается норма и начинается патология хронической интоксикации организма рыбы почти незаметна [5].

Главной рекой Оренбургской области является река Урал. Из общего стока 76,8% отводится на бассейн р. Урал [6]. Сток среднего течения р. Урал формируется многочисленными притоками, в том числе, главным притоком р. Сакмара. В функциональном отношении р. Сакмара выделяется нестабильностью геоэкологической ситуации и значительной перегруженностью промышленными объектами [7]. Поэтому изучение состояния экосистемы р. Сакмара является актуальным.

Цель исследования: изучить особенности накопления тяжелых металлов (Cu, Fe, Zn, Pb) в жабрах леща обыкновенного (*Abramis brama* L), обитающего на реке Сакмара на территории Оренбургской области.

Материалом для исследования послужили жабры леща обыкновенного (*Abramis brama* L), выловленного в летний период 2022 г. с помощью ставных жаберных сетей. Средняя проба составлялась из 30 штук рыб. Анализ концентрации металлов в биологических образцах проводилось вольтамперометрическим анализатором ТА-lab (ГОСТ 33824-2016) [8]. Содержание Cu, Zn и Pb в жабрах леща сравнивали с нормативами СанПиН 2.3.2.1078-01 [9], содержания Fe – по А. С. Ваганову [10].

Результаты исследования показали, что наибольшее содержание в жабрах характерно для Fe – $646,67 \pm 200,83$ мг/кг и Zn – $67,67 \pm 0,33$ мг/кг. Концентрация Cu составляет – $34,33 \pm 2,03$ мг/кг. Содержание Pb ($0,002$ мг/кг) в жабрах не превышает значений ПДК ($1,0$ мг/кг).

Содержание ТМ в жабрах, изучаемого представителя ихтиофауны можно расположить в следующем порядке убывания: Fe > Zn > Cu > Pb.

Таким образом, относительно высокое содержание Fe, Zn, Cu в жабрах бентофага обусловлено образованием труднорастворимых соединений, обогащающих донные отложения и бентосные организмы [11].

Библиографический список

1. Добровольский В. В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М. : Мысль, 1983. 272 с.
2. Богданов В. Д., Добринская Л. А., Лугаськов А. В. Экологическое изучение системы реки Маньи. Свердловск, 1982. 66 с.
3. Большаков В. Н. Экологический подход к проблемам развития крупного промышленного региона (на примере Урала) // Продовольственная безопасность XXI века: эколого-экономические аспекты : сб. науч. тр. УрГСХА, 2000. Т. 1. С. 29–45.
4. Марченко А. Л., Христофорова Н. К., Чернова Е. Н. Содержание тяжелых металлов в мышцах красноперок южного Приморья // Известия ТИНРО. 2006. Т. 146. С. 276–282.
5. Ваганов А. С. Сравнительная характеристика содержания тяжелых металлов в промысловых видах рыб Куйбышевского водохранилища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. спец. Выпуск «ЭкоБиотех-2011». 2011. Т. 13. № 5 (2). С. 143–146.
6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Оренбургской области в 2016 году». Оренбург : Правительство Оренбургской области, 2017.
7. Сивохиц Ж. Т. Эколого-географические проблемы трансграничного бассейна реки Урал и пути их решения // Оренбургская область: география, экономика, экология : сб. научных статей. Оренбург, 2014. С. 75–88.
8. ГОСТ 33824-2016 «Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка)». М. : Стандартинформ, 2016. 21 с.
9. СанПиН 2.3.2.1078-01. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». М., 2002. 269 с.
10. Ваганов А. С. Содержание тяжелых металлов в тканях и органах промысловых рыб Куйбышевского водохранилища // Вестник Нижневартовского университета имени Н. И. Лобачевского. 2011 № 2 (2). С. 25–28.
11. Ваганов А. С. особенности распределения тяжелых металлов в тканях и органах рыб рода *Abramis* Куйбышевского водохранилища // Вода: химия и экология. 2012. № 1. С. 90–93.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НЕМАТОДОЗОВ ГРЫЗУНОВ И ИХ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА

*А. И. Русских^{1,2}, О. Б. Жданова^{1,2}, О. В. Часовских^{1,2}, В. А. Заметаева¹,
А. А. Рыболовлева², И. И. Окулова², Д. И. Редькин¹, Е. Б. Дунаева¹*
¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
² Кировский государственный медицинский университет,
oliabio@yandex.ru, beoli@mail.ru

В статье представлен опыт изучения гельминтофауны. Грызуны довольно часто заражаются паразитами, в основном, нематодами. Источником инвазии для лабораторных и домашних грызунов служат синантропные мышевидные грызуны, хотя большинство животных заражаются уже в питомниках. Также нематодозы широко распространены в вивариях г. Кирова. Установлено, что данные заболевания могут быть опасны и для человека, в связи с чем необходимо проводить своевременную их профилактику.

Ключевые слова: гельминты, грызуны, сифациоз, трихинеллез, паразитозы, лабораторные животные, цестодозы, нематодозы.

Во многих городах отмечается увеличение случаев использования грызунов в качестве животных-компаньонов; в многочисленных научно-исследовательских лабораториях для экспериментальных исследований используют лабораторных животных – грызунов. В настоящее время с помощью селекции выведено более 250 линий мышей и около 200 линий крыс. Также, в последнее время, набирает популярность содержание различных грызунов в качестве домашних любимцев. Однако обработке животных от экто- и эндопаразитов уделяется мало внимания, что может быть связано как с неосведомленностью о паразитозах грызунов, так и с отсутствием рекомендаций и наставлений, показывающих необходимость противопаразитарных мероприятий. Проведенные ранее исследования свидетельствуют о том, что лабораторные животные довольно часто заражены паразитами, в основном цестодами и нематодами. По данным отечественных и зарубежных авторов у лабораторных животных преимущественно отмечается инвазированность круглыми червями отряда *Oxurata*, в основном видами *Aspiculuris tetraptera* и *Syphacia obvelata*, *S. muris* между которыми ярко выражены конкурентные отношения [1]. Источником инвазии для лабораторных и домашних животных служат синантропные мышевидные грызуны, кроме того, большинство животных заражаются уже в питомниках. В биоценозах Кировской области исследователи определяли 5 видов сифаций. [2–5]. В то же время информация о нематодозах грызунов в целом по РФ носит обрывочный характер и не дает полную картину паразитофауны, в частности, у лабораторных животных, в связи с чем исследования в этой области являются на данный момент весьма актуальными.

Исследовали мышей и крыс, содержащихся в соответствующих зоогигиенических условиях вивариев и получавших стандартный рацион, а также животных, содержащихся в домашних условиях. Были отобраны пробы фекалий для гельминтологических исследований и сделаны перианальные соскобы при помощи скотча на предметное стекло. Проведено частичное гельминтологическое вскрытие кишечника мышей на обнаружение половозрелых особей гельминтов, которых извлекали в физиологический раствор, и помещали в глицерин. Подсчет количества паразитов и их определение проводили по определителю А. А. Черепанова на отрезке кишечника 5 см [6]. Рассчитывали экстенсивность инвазии (ЭИ) и интенсивность инвазии (ИИ). Типирование гельминтов проводили с помощью определителей и сопоставления собственных исследований и музейных препаратов. [3, 6–8]

Использовали 24 белые мыши, которых разделили на 3 группы по 8 животных в каждой группе. Для изучения распределения личинок трихинелл, крыс заражали инвазивными личинками трихинелл в дозе 40 личинок/животное, физиологические тесты проводили на базе кафедры зоогигиены, физиологии и биохимии ВятГАТУ.

При гельмитоовоскопическом исследовании фекалий от мышей и крыс вивария ВятГАТУ были обнаружены яйца нематоды *Aspiculuris tetraptera*, они имели эллипсоидную форму, двухслойную тонкую, гладкую оболочку и зернистое содержимое, также визуализировались яйца нематоды *Syphacia*, асимметричной формы (одна сторона выпуклая, другая плоская), тонкой, гладкой двухслойной оболочкой и зернистым содержимым.

В ходе гельминтологического вскрытия у животных из вивария ВНИИП (Москва) в кишечнике были найдены половозрелые особи гельминтов белого цвета, тонкие, размер их варьировал от 1,5 до 4 мм, определенные как сифафии. У нематод *Syphacia* пищевод имел бульбарное расширение, интенсивность инвазии составила 5–10 экземпляров на животное. При гельминтоскопии фекалий от крыс, у которых были обнаружены единичные яйца сифафий, диагноз подтверждали перианальным соскобом.

При гельмитоовоскопическом исследовании фекалий от мышей были обнаружены яйца нематоды *Aspiculuris tetraptera*, они имели эллипсоидную форму, двухслойную тонкую, гладкую оболочку и зернистое содержимое. Часть животных была инвазирована обоими видами. Экстенсивность инвазии нематодами была мышей свыше 70%, а крыс 60%, ЭИ по видам животных представлена в таблицах 1, 2. Распределение личинок трихинелл при экспериментальной инвазии представлено в таблице 3.

Таблица 1

**Экстенсивность инвазии при заражении *Syphacia obvelata*,
в зависимости от сезона исследования (n = 20)**

Сезон года	Группы грызунов	
	мыши	крысы
1 осенне-зимний	69,2±10,6	48,2±13,2
2 весенне-летний	55,2±12,6	37,1±16,5

У *Aspiculuris tetraptera*, обнаруженных в виварии ВГАТУ на головном конце имеются небольшие кутикулярные крылья, также диагноз подтвердили размеры и форма обнаруженных яиц.

Таблица 2

**Экстенсивность инвазии при заражении *Aspiculuris tetraptera*
в зависимости от сезона исследования (n = 20)**

Сезон года	Группы грызунов	
	мыши	крысы
1 осенне-зимний	17,2±3,6	16,8±1,3
2 весенне-летний	15,1±8,6	17,1±3,6

**Распределение личинок трихинелл
при экспериментальном трихинеллезе**

Группа мышц	Среднее количество личинок в срезе
Язык	1,5±0,5
Жевательные	1,9±0,3
Мышцы шеи	0,25±0,05
Проксимальная группа мышц грудной конечности	0,5±0,05
Дистальная группа мышц грудной конечности	0,9±0,2
Диафрагма	1,5±0,3
Межреберные	0
Поясничные	0
Мышцы хвоста	0,9±0,3
Проксимальная группа мышц задней конечности	1,2±0,05
Дистальная группа мышц задней конечности	4,5±0,05

Таким образом, нематодозы широко распространены у грызунов г. Кирова. Установлено, что инвазирование животных нематодами приводит к их широкому распространению, кроме того, данные заболевания могут быть опасны и для человека, в связи с чем необходимо проводить своевременную их профилактику в виде профилактических и лечебных дегельминтизаций и дезинфекцию объектов окружающей среды [1, 2].

Библиографический список

1. Масленникова О. В., Ерофеева В. В., Пухляк В. П. Сифациоз грызунов и его эколого-эпидемиологическое значение // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 9–7. С. 1542.
2. Экологические аспекты применения азидата натрия в качестве консерванта и дезинфектанта почв урбанизированных территорий / С. П. Ашихмин, Л. И. Домрачева, О. Б. Жданова, Л. Б. Кондакова, Л. Р. Мутошвили, Л. Б. Попов // *Российский паразитологический журнал*. 2010. № 2. С. 24–29.
3. Влияние возрастающих концентраций азидата натрия на аборигенную микрофлору полевых почв / А. Р. Гайфутдинова, Л. И. Домрачева, Н. В. Дроздова, Д. Л. Старкова, О. Б. Жданова, С. П. Ашихмин // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы X Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Киров, 2012. С. 138–141.
4. Жданова О. Б., Написанова Л. А., Репина Е. В. Сравнительное изучение топографии кишечного-ассоциированной лимфоидной ткани стенки кишечника у песца при гельминтозах // *Труды Всероссийского НИИ гельминтологии имени К. И. Скрябина*. 2006. Т. 42. С. 131–138.
5. Мартусевич А. К., Жданова О. Б. Исследование зависимости кристаллогенной активности биосреды от интенсивности экспериментальной инвазии *Trichinella spiralis* // *Российский паразитологический журнал*. 2013. № 2. С. 64–71.
6. Черепанов А. А. Дифференциальная диагностика гельминтозов по морфологической структуре яиц и личинок возбудителей: атлас М. : Колос, 2001. 76 с.
7. Мутошвили Л. Р., Жданова О. Б., Часовских О. В. Гельминтозы лабораторных крыс и их значение // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 7–1. С. 125.

8. Попов Л. Б. Домрачева Л. И., Жданова О. Б. Биологическая оценка риска от применения азида натрия при дезинвазии урбанозёмов // Современные проблемы биомониторинга и биоиндикации : материалы VIII Всерос. науч-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВГГУ. 2010. С. 114–117.

ИНТЕРЕСНЫЕ ОРНИТОЛОГИЧЕСКИЕ НАХОДКИ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ. ЗАКАЗНИК «ПИЖЕМСКИЙ»

Н. П. Селиванова

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, selivanova@ib.komisc.ru

В работе приводятся новые сведения о распространении двенадцати видов птиц на территории особо охраняемой природной территории Республики Коми – комплексный заказник «Пижемский». На основании анализа литературы с 1972 г., данных учетов птиц, проведенных автором на территории заказника в 2006, 2023 гг., опросных и анкетных сведений, полученных от жителей населенных пунктов, расположенных в среднем течении р. Пижма, проанализированы изменения, произошедшие в орнитофауне заказника.

Ключевые слова: птицы, новые находки, р. Пижма.

Комплексный заказник «Пижемский» расположен в северо-западной части Республики Коми. Резерват занимает долину р. Пижмы – от истока (оз. Ямозеро) до д. Скитская в пределах трехкилометровых полос по обеим берегам реки и долину р. Светлая от истока (северо-восточные отроги Четласского камня) до устья (р. Пижма) в пределах трехкилометровой полосы вдоль ее левого берега. Река Пижма берет свое начало из оз. Ямозеро, занимающего площадь около 30 км². Реки Пижма и Светлая, прорезая Тиманский кряж в его средней, наиболее возвышенной части, характеризуются быстрым течением, наличием порогов и перекатов. По берегам часты выходы древних коренных пород, образующих гряды и останцы, сложенные из карбоновых известняков [1]. На территории заказника преобладают малонарушенные таежные леса с широким распространением в них лиственницы сибирской (*Larix sibirica*). На дренированных участках водоразделов преобладают ельники из ели сибирской (*Picea obovata*) и березы пушистой (*Betula pubescens*). Боровые террасы и флювиогляциальные равнины заняты сосняками из сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*). Значительные площади на Тиманском кряже занимают карстовые долины, сложенные карликовой березой (*Betula nana*) [2].

Сведения об орнитофауне средней части Тиманского кряжа имеются в работах А. А. Естафьева [3], К. К. Деметриадеса и К. П. Робула [4, 5], Н. П. Селивановой и А. Н. Королева [6–8]. Данные по фауне птиц региона в целом обобщены в монографических сводках: «Животный мир Коми АССР» [9], «Фауна европейского Северо-Востока России» [10, 11]. В сообщении приводятся наиболее интересные орнитологические наблюдения, полученные

автором при обследовании заказника «Пижемский» в мае-июне 2023 гг. и на основании опросов местных жителей, регулярно посещающих территорию заказника.

Лебедь-шипун (*Cygnus olor*) – залетный вид. На протяжении последних 5–10 лет встречи лебедей-шипунцов в таежной зоне региона стали носить регулярный характер [12]. Пять особей шипунцов наблюдались в акватории оз. Ямозера в первых числах июня. Птицы держались в одной группе с лебедями-кликунцами. Отмечены некоторые поведенческие особенности вида: при приближении моторной лодки к смешанной стае лебедей на расстояние около 300 м кликуны взлетели, в то время как шипунцы продолжали кормиться.

Стерх (*Grus leucogeranus*) – чрезвычайно редкий залетный вид, встречи в Европейской части России ограничиваются единичными находками. Ближайшие места предположительного гнездования вида расположены в Западной Сибири (бассейн р. Обь). По данным анкетирования, проведенного автором в 2021–2022 гг. направленного на выявление встреч стерха на территории Республики Коми и Ненецкого автономного округа отмечены новые точки находок вида, в том числе и в бассейне р. Пижмы. Двух неполовозрелых залетных стерхов в течении нескольких дней в мае 2021 г. наблюдал житель с. Замежная В. Н. Дорофеев. Птицы кормились на пойменном лугу напротив д. Верховская [13].

Серая цапля (*Ardea cinerea*) – гнездящийся вид. В конце XX века серая цапля имела в регионе статус регулярно-залетного вида [10]. За последние 10–20 лет вид значительно продвинулся в северном направлении. В настоящее время цапля обычна на гнездовании в долине Вычегды (62° с. ш.), в небольшом числе гнездится на Средней Печоре, Мезени, Вашке. Залетных птиц отмечали до 66° с. ш. (устное сообщение жителя г. Усинска Е. В. Борзенко). В верхнем течении р. Пижмы (в 10 км выше по реке от устья р. Умбы) пару серых цапель наблюдал осенью 2022 г. житель д. Скитская Г. С. Михеев. В начале 2000-х гг. серых цапель отмечал в нижнем течении р. Пижмы житель д. Степановская – А. В. Самброс [8]. В бассейне р. Пижмы вид может быть охарактеризован как летующий (вид встречается в летний период, но гнездование его не доказано).

Камнешарка (*Arenaria interpres*) – пролетный на территории Республики Коми вид, гнездящийся на арктических побережьях. Пара камнешарок встречена нами на берегу оз. Ямозера 2 июня. Птицы отдыхали на осоковом бугре у кромки воды. Основной путь пролета камнешарок в Европейской части России проходит вдоль побережья Баренцева моря [10]. В таежной зоне региона единственная встреча зарегистрирована в г. Печоре в мае 1985 г. [14]. Находка камнешарки в бассейне р. Пижмы расширяет наши представления о путях пролета и возможной тенденции смещения к югу миграционных путей этого арктического вида птиц. Подобное предположение для Западной Сибири было сделано С. П. Пасхальным [15].

Чернозобик (*Calidris alpina*) – пролетный на территории Республики Коми вид, гнездящийся в материковых тундрах. Встречи чернозобика в таеж-

ной зоне региона не регулярны и редки [10]. Стайка из семи птиц отмечалась на прилегающем к оз. Ямозеро болоте 3 июня. Находка вида в бассейне р. Пижма пополняет данные о путях пролета этого арктического вида птиц.

Большой веретенник (*Limosa limosa*) – гнездящийся вид. Во второй половине прошлого века большой веретенник на территории Республики Коми не регулярно гнезвился в долине р. Вычегды (62° с. ш.) [10]. С начала XXI наблюдается значительное расширение ареала вида в северном направлении, сопровождающееся увеличением численности. В настоящее время большой веретенник найден гнездящимся к северу до широты г. Усинска (66° с. ш.; устное сообщение сотрудника ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН С. К. Кочанова). В начале июня одна территориальная пара веретенников отмечена нами на болоте, прилегающем к оз. Ямозеро, вторая – на бол. Климково (в 15 км выше по течению от д. Левкинская). Стайка из пяти птиц встречена в пойме р. Пижмы близ бол. Климково также в начале июня. Встречи территориальных пар с большой долей вероятности позволяют предположить гнездование вида в бассейне р. Пижма.

Малый веретенник (*Limosa lapponica*) – пролетный на территории Республики Коми вид, гнездящийся в материковых тундрах. Основной путь пролета малого веретенника в Европейской части России проходит вдоль побережья Баренцева моря, в таежной зоне в период миграций известны единичные встречи [10]. Нами одиночная птица найдена 3 июня на болоте прилегающему к оз. Ямозеро. Находка вида в бассейне р. Пижмы пополняет данные о путях пролета этого арктического вида птиц.

Восточная клуша (*Larus heuglini*) – гнездящийся в материковых тундрах Европейской части России вид. Небольшие стаи (3–5 особей) регистрировались в начале июня на оз. Ямозеро и в пойме р. Пижмы (в районе ур. Яранский Мег). С конца прошлого – начала нынешнего века намечается тенденция распространения вида в западном, юго-западном направлении. Негнездящиеся птицы разных возрастов в летний период встречаются в регионе к югу до бассейна р. Вычегды (62 °с.ш.; данные автора), в Европейской части России отмечаются единичные случаи гнездования [16].

Полярная крачка (*Sterna paradisaea*) – гнездящийся в материковых тундрах и на арктических побережьях вид. Стая полярных крачек (15–20 особей) отмечена в акватории оз. Ямозеро в начале июня. Встреча вида в бассейне р. Пижмы пополняет данные о путях пролета этого арктического вида птиц.

Деревенская ласточка (*Hirundo rustica*) – гнездящийся вид, распространен в регионе к северу до лесотундры, известны случаи гнездования ласточек в материковых тундрах на постройках человека [17]. Гнездо деревенской ласточки найдено внутри рыбацкой избушки, расположенной на берегу оз. Ямозера. Дата постройки избушки датируется 2022 г., следовательно гнездо использовалось деревенскими ласточкам в летний период 2022 г., когда, после окончания весеннего рыболовного промысла (начало июня), избушка пусто-

вала. Ближайшие места гнездования деревенских ласточек расположены на расстоянии 100 км ниже по р. Пижмы (д. Левкинская).

Горная трясогузка (*Motacilla cinerea*) – гнездящийся вид. Западная граница распространения вида до конца XX в. ограничивалась предгорьями западного макросклона Уральского хребта. С середины 1980-х гг. пролетные особи, а с середины 1990-х – уже летующие и гнездящиеся стали регистрироваться западнее Урала: в Предуралье и на территории Восточно-Европейской равнины [18]. При орнитологическом обследовании заказника в 2006 г. две пары *M. cinerea* с гнездовым поведением встречены на скалах в районе д. Новожиловская и д. Верховская, в 2023 г. на территории заказника насчитывалось уже четыре гнездящиеся пары.

Черный дрозд (*Turdus merula*) – гнездящийся вид. С конца прошлого – начала нынешнего века на территории европейского Севера России отмечается расширение ареала черного дрозда в северном, северо-восточном направлении. В настоящее время вид гнездится в бассейне р. Вычегды (62° с.ш.), одиночные залеты регистрируются до 65° с.ш.; данные автора). В пойме р. Пижмы (в 8 км выше по течению от д. Верховская) поющий самец зарегистрирован нами в начале июня. Значительная удаленность от гнездового ареала позволяет охарактеризовать эту встречу как залет.

Библиографический список

1. Кадастр особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Сыктывкар : Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 2014. 428 с.
2. Лесорастительное районирование Республики Коми / Г. М. Козубов, В. А. Мартыненко, С. В. Дёгтева, Э. П. Галенко, И. В. Забоева // Леса Республики Коми. М. : Дизайн. Информация. Картография, 1999. С. 257–287.
3. Естафьев А. А. Современное состояние, распределение и охрана авифауны таежной зоны бассейна р. Печоры // Серия препринтов «Научные доклады». Сыктывкар : Коми филиал АН СССР, 1981. Вып. 68. 53 с.
4. Деметриадес К. К. Состав орнитофауны тайги Среднего Тимана // Животный мир лесной зоны Европейской части СССР. Калинин : КГУ, 1988. С. 15–23.
5. Деметриадес К. К., Робул К. П. Новые материалы к орнитофауне Среднего Тимана // Материалы к распространению птиц на Урале в Приуралье и Западной Сибири. Екатеринбург, 1997. С. 50–55.
6. Селиванова Н. П. Находки горной трясогузки на Среднем Тимане (Республика Коми) // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. Екатеринбург, 2007. С. 220.
7. Селиванова Н. П. Орнитофауна // Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Охраняемые природные комплексы Тимана. Комплексный ландшафтный заказник «Белая Кедва». Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 2007. Вып. 4. Ч. 2. С. 142–153.
8. Королев А. Н., Селиванова Н. П. Наземные позвоночные // Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Охраняемые природные комплексы Тимана. Комплексный заказник «Пижемский» Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 2010. Вып. 4. Ч. 3. С. 101–120.
9. Остроумов А. Н. Животный мир Коми АССР. Сыктывкар : Коми гос. изд-во, 1972. 279 с.

10. Птицы. Неворобьиные / под ред. А. А. Естафьева // Фауна европейского Северо-Востока России. СПб : Наука, 1995. Т. I. Ч. 1. 325 с.
11. Птицы. Неворобьиные / под ред. А. А. Естафьева // Фауна европейского Северо-Востока России. СПб : Наука, 1999. Т. I. Ч. 2. 290 с.
12. Селиванова Н. П., Спицина Т. Б., Онищенко Л. В. К распространению лебедя-шипунa в таежной зоне европейского северо-востока // Фауна Урала и Сибири. 2022. № 2. С. 82–86.
13. Селиванова Н. П., Кочанов С. К. Новые встречи стерха в Республике Коми, Россия // Информационный бюллетень Рабочей группы по журавлям Евразии. М. : [б. и.], 2023. С. 9–10.
14. Естафьев А. А. Биология камнешарки (*Arenaria interpres* L.) на Европейском Северо-Востоке СССР // Экология редких, малоизученных и хозяйственно важных животных Европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар : Коми научн. центр, 1989. № 100. С. 29–38.
15. Пасхальный С. П. Миграция камнешарки *Arenaria interpres* в низовьях Оби и связь вида с антропогенными местообитаниями в этот период // Русский орнитологический журнал. 2016. Т. 25. Экспресс-выпуск 1235. С. 102–103.
16. Куркамп Гроот Х. Халей (*Larus heuglini*) // Атлас гнездящихся птиц европейской части России. Москва : Фитон XXI, 2020. С. 385–386.
17. Рябицев В. К. Птицы Урала, Приуралья и Западной Сибири: справочник-определитель. Екатеринбург : Уральский ун-т, 2008. 633 с.
18. Селиванова Н. П., Кочанов С. К., Королев А. Н. К распространению горной трясогузки на территории Восточно-Европейской равнины // Фауна Урала и Сибири, 2019. № 1. С. 151–155.

**ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ НАСЕКОМЫХ-ОПЫЛИТЕЛЕЙ
ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ
НА ПРИМЕРЕ ЛЮПИНА МНОГОЛИСТНОГО
(*LUPINUS POLYPHYLLUS*)**

А. А. Стеклова

Тульский государственный университет,
info@tsu.tula.ru, imc@tsu.tula.ru

Данная работа посвящена изучению спектров насекомых – опылителей инвазивных и аборигенных растений лугов на территории Тульской области. Данная работа имеет отношение к актуальной проблеме экологии инвазивных видов растений, а также касается видоразнообразия насекомых-опылителей.

Ключевые слова: опыление, генералисты и специалисты, люпин многолистный, насекомые-опылители, инвазивные виды, функциональные группы опылителей, спектры опылителей

Антофильными называют тех насекомых, которые способны, питаясь пыльцой и нектаром и перенося пыльцу с одного цветка на другой, осуществлять перекрёстное опыление энтомофильных растений. Антофильные насекомые и энтомофильные растения в течение миллионов лет коэволюциониро-

вали, в результате чего взаимно приспособились друг к другу [1–3]. Вообще сопряженная эволюция цветковых растений и насекомых была одним из главных источников стремительного роста разнообразия обеих групп начиная с мелового периода, и ведущую роль в этом играют взаимоотношения именно опылителей и растений-энтомофилов. Появление новых растений создает ниши для новых видов насекомых, питающихся нектаром и пыльцой, а новые насекомые создают «опылительные ниши» для новых видов растений [4]. Многие насекомые стали зависимыми в плане питания от нектара и пыльцы растений, в то время как растения-энтомофилы без насекомых испытывают трудности с половым размножением, а потому эти две группы организмов нуждаются друг в друге: растения обеспечивают насекомых питанием и источниками энергии в виде сахаров, а также могут являться для них местом отдыха [5, 6], в то время как опылители обеспечивают генетическое разнообразие растений, что является полезным для популяции последних в рамках биоценоза.

Способы увеличения эффективности перекрёстного опыления у энтомофильных растений могут быть разными. Растения могут быть генералистами, то есть иметь простое строение цветков, которые могут опылять многие виды насекомых из разных отрядов. Другие растения – специалисты – обладают довольно сложным строением цветка, из-за чего их нектар и пыльца доступны только определённым опылителем [4].

Существуют определённые проблемы, связанные с инвазивными видами растений, в частности заселяющими луга. Инвазивными называют виды, которые, будучи выходцами из других сообществ, географически удалённых от исходного, попадают в новое сообщество и начинают вытеснять аборигенные виды, агрессивно воздействуя на среду обитания [7]. В Тульской области одним из таких видов является люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus*). Опылители аборигенных растений начинают опылять инвазивные растения, тем самым способствуя их размножению и дальнейшему расселению. Поэтому изучение опылителей инвазивных видов необходимо, чтобы понять, насколько эти виды внедрились в исходный биоценоз. Для этого нужно сравнить спектры опылителей объекта и аборигенных видов.

В ходе работы были изучены опылители инвазивного вида люпина многолистного, параллельно для сравнения шло изучение опылителей аборигенных видов: генералиста тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium*) и специалиста колокольчика раскидистого (*Campanula patula*).

Поскольку в систематическом плане наблюдаемые насекомые были очень разнообразны, они были определены не только по таксономической принадлежности к определенным отрядам, но и по функциональным группам опылителей. Это позволит более удобным образом определять привлекательность для опылителей того или иного растения, поскольку систематическое положение не всегда адекватно отражает экологически значимое разнообразие антофильных насекомых [1].

В общей сложности исследуемые растения в период наблюдения посетили 40 видов насекомых из 5 отрядов (рис. 1, табл. 1), они относились к 8 функциональным группам опылителей: бабочки (1 вид), жуки (9 видов), медоносные пчёлы (1 вид), иные пчёлы (4 вида), шмели (5 видов), мухи-журчалки (2 вида), мускоидные мухи (5 видов), иные (14 видов), общее количество посещений 273.



Рис. 1. Представительство насекомых разных отрядов среди опылителей

Таблица 1

Список видов насекомых-опылителей, определённых за время наблюдения

Опылители	Функциональные группы	Опылители	Функциональные группы
1	2	3	4
Отряд Жестокрылые (Coleoptera)		Отряд Чешуекрылые (Lepidoptera)	
Мохнатка обыкновенная (<i>Lagria hirta</i>)	жуки		
Мягкотелка бурая (<i>Cantaris fusca</i>)	жуки	Репейница (<i>Vanessa cardui</i>)	бабочки
Мягкотелка рыжая (<i>Rhagoxycha fulva</i>)	жуки	Отряд Перепончатокрылые (Hymenoptera)	
Олёнка зловонная (<i>Oxythyrea funesta</i>)	жуки	<i>Apanteles</i> sp.	иные
Узконадкрылка зелёная (<i>Oedemera virescens</i>)	жуки	<i>Bethylida</i> sp.	иные
Узконадкрылка узкобрюхая (<i>Anoncodes coarcata</i>)	жуки	<i>Andrena</i> sp.	иные пчёлы
Усач зонтичный (<i>Phytoecia cylindrica</i>)	жуки	<i>Halictus</i> sp.	иные пчёлы
Шипоноска чёрная (<i>Mordella aculeata</i>)	жуки	<i>Micrandrena</i> sp.	иные пчёлы

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
Скрытоглав зверобойный (<i>Cryptocephalus moraei</i>)	жуки	<i>Seladonia</i> sp.	иные пчёлы
Отряд двукрылые (diptera)		<i>Chrysis</i> sp.	иные
Муха комнатная (<i>Musca domestica</i>)	мускоидные мухи	<i>Odynerus</i> sp.	иные
Жигалка осенняя (<i>Stomoxys calcitrans</i>)	мускоидные мухи	<i>Tiphia</i> sp.	иные
Муха мясная обыкновенная (<i>Sarcophaga carnaria</i>)	мускоидные мухи	Муравей рыжий лесной (<i>Formica rufa</i>)	иные
Журчалка осовидка (<i>Temnostoma vespiforme</i>)	мухи-журчалки	Муравей чёрный садовый (<i>Lasius niger</i>)	иные
Журчалка рыжеволосая (<i>Eumerus rufipilus</i>)	мухи-журчалки	Оса германская (<i>Puravespula germanica</i>)	иные
<i>Voria</i> sp.	мускоидные мухи	Оса-блестянка (<i>Chrysis zetterstalti</i>)	иные
Ежемуха <i>Eriothrix rufomaculata</i>	мускоидные мухи	Пчела медоносная (<i>Apis mellifera</i>)	медоносные пчёлы
Пестрокрылка <i>Rhagoetis</i> sp. (зол.)	иные	Шмель земляной (<i>Bombus terrestris</i>)	шмели
Пестрокрылка <i>Rhagoetis</i> sp. (чёрн.)	иные	Шмель норовой (<i>Bombus lucorum</i>)	шмели
<i>Drosophila</i> sp.	иные	Шмель каменный (<i>Bombus lapidarius</i>)	шмели
Отряд полужестокрылые (hemiptera)		Шмель полевой (<i>Bombus pascuorum</i>)	шмели
Наземник конный (<i>Lygaeus equestris</i>)	иные	Шмель лесной (<i>Bombus sylvarum</i>)	шмели
Щитник ягодный (<i>Dolycoris baccarum</i>)	иные		

Если смотреть общее посещение по функциональным группам, то наибольшую долю составляют иные, затем жуки, на третьем месте иные пчёлы (рис. 2).

Если возвращаться к объекту исследования, то люпин многолистный, являясь видом из семейства бобовые, считается специалистом, поэтому вполне обоснованно отсутствие посещений у мускоидных мух и мух-журчалок. Среди посетителей люпина было много представителей семейства пчелиные в частности и отряда Перепончатокрылые в общем, хотя пчела медоносная посещала люпин только один раз (рис. 3). Преобладающей функциональной группой опылителей стали шмели.

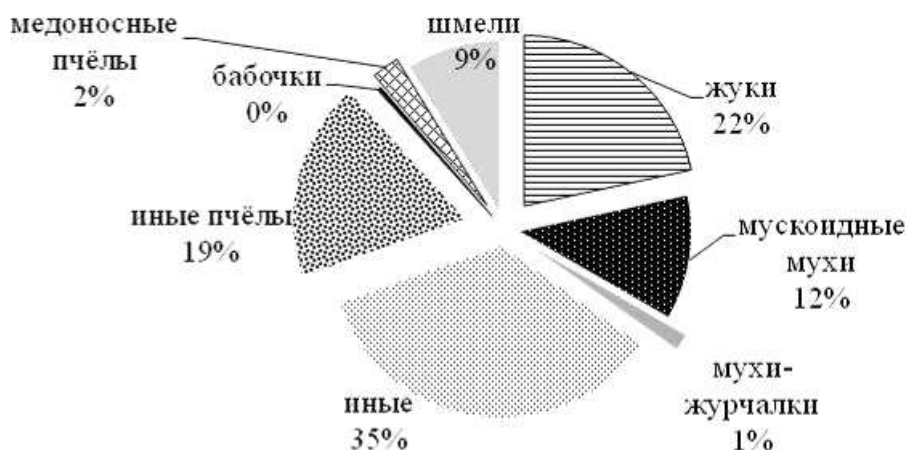


Рис. 2. Представительство насекомых разных функциональных групп среди опылителей

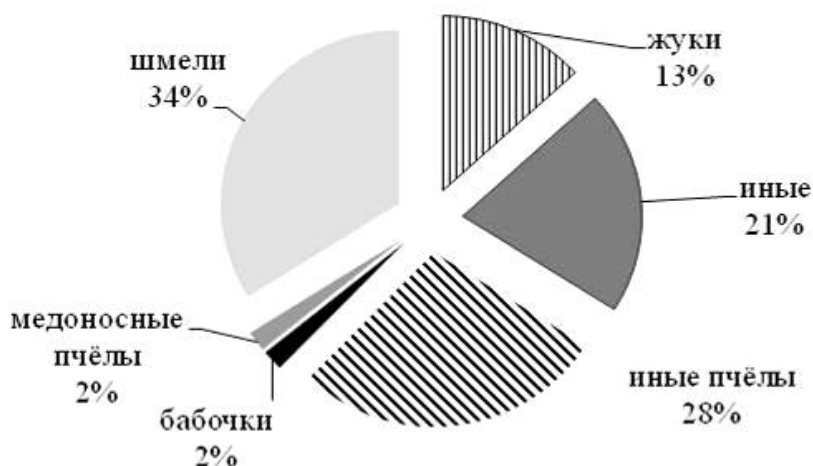


Рис. 3. Представительство насекомых разных функциональных групп среди посетителей люпина многолистного

Таким образом, люпин многолистный в группе с аборигенными видами не стал самым привлекательным растением для насекомых-опылителей, в целом они предпочли другие растения, однако функциональная группа шмели посещала преимущественно люпин. В целом можно заявить, что ситуация с внедрением люпина в экосистемы лугов Тульской области на территории наблюдения не является критической, но для подтверждения требуются дальнейшие наблюдения.

Среди опылителей в рамках своих функциональных групп наибольшей численностью характеризовались: узконадкрылка зелёная (*Oedemera virescens*), журчалка осовидка (*Temnostoma vespiforme*), ежемуха *Eriothrix rufomaculata*, оса рода Бетелида (*Bethylida* sp.), пчела рода Микрандрена (*Micrandrena* sp.), шмель каменный (*Bombus lapidarius*).

Библиографический список

1. Дорохин Д. М., Лысенков С. Н., Елумеева Т. Г. Сравнение спектров антофильных насекомых, посещающих некоторые виды Зонтичных (*Ariaceae*) в Московской области // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 2019. Т. 124. Вып. 2. С. 25–34.
2. Гринфельд Э. К. Происхождение и развитие антофилии у насекомых. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 208 с.
3. Фегри К., Л. ван дер Пэйл. Основы экологии опыления. М. : Мир, 1982. 381 с.
4. Сафонов А. И. Эволюционное учение. Классики и современники : учебник (для бакалавров направления подготовки 06.03.01 – Биология) Донецк : ДонНУ, 2018. 523 с.
5. Витон П. Г. Опыт привлечения энтомофилов и насекомых-опылителей ароматическими и медоносными растениями // Евразийский энтомологический журнал 2016. № 15 (1). С. 89–94.
6. Рогатных Д. Ю., Аистова Е. В., Безбородов В. Г. Экологическое значение Насекомых (Insecta) и Паукообразных (Arachnida) опылителей кустарников рода *Spiraea* L. (сем. Rosaceae juss.) на территории Амурского филиала Ботанического сада-института // Вестник КрасГАУ. 2011. № 10. С. 102–106.
7. Кондратьев М. Н., Евдокимова Д. П., Ларикова Ю. С. Роль инвазий чужеродных видов растений в лесные экосистемы. Ишим : Изд-во ИПИ имени П. П. Ершова (филиала) ТюмГУ, 2018. 208 с.

О ВСТРЕЧАЕМОСТИ ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ, ВНЕСЕННЫХ В КРАСНУЮ КНИГУ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ, В ОКРЕСТНОСТЯХ с. РАГОЗИНО СЕДЕЛЬНИКОВСКОГО РАЙОНА ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А. Я. Сукачев¹, В. М. Рябов²

¹ *Рагозинская СШ Седельниковского района Омской области,
leo426@mail.ru,*

² *Вятский государственный университет, ryapitschi@yandex.ru*

Представлены материалы о встречаемости видов позвоночных животных, внесенных в Красную книгу Омской области, чье обитание выявлено на территории Седельниковского района в окрестностях с. Рагозино. Полученные материалы актуальны в связи с переизданием Красной книги Омской области в 2025 г.

Ключевые слова: Красная книга, Омская область, встречаемость, относительная численность, охранный статус, маршрутный учет.

Полевые работы по изучению распространения позвоночных животных внесенных в Красную книгу Омской области в окрестностях с. Рагозино Седельниковского района Омской области проводили в мае – августе 2023 г. Были обследованы прилегающие к селу территории: лесные массивы, сельскохозяйственные угодья, пойма р. Уй, устьевые участки рек Каланцас, Шайтанка. Реку Уй, на которой стоит село можно считать условной естественной границей природных подзон: к югу расположена подзона лиственных лесов (березово-осиновых), к северу южнотаежных.

Исследования мелких млекопитающих и земноводных проводили методом ловчих заборчиков во второй половине лета [1], изучение птиц осуществляли методом маршрутных учетов без ограничения ширины полосы обнаружения и методом точечных учетов [2]; дополнительно проводили опросы охотников, работников лесного хозяйства. Для ориентирования на местности и фиксации координат мест обитаний видов использовали GPS-приемник «Garmin – 64», При наблюдении птиц использовали бинокль с 15-кратным увеличением. Охранный статус и названия видов указаны в соответствии с Красной книгой Омской области [3].

За период исследования было достоверно выявлено пребывание 2 видов земноводных, одного вида пресмыкающихся, 7 видов птиц и 3 видов зверей внесенных в Красную книгу Омской области, а так же 5 видов птиц внесенных в Приложение № 4 к Красной книге Омской области: «Животные, нуждающиеся в особом внимании к их состоянию в природной среде». Далее представлен аннотированный список данных видов.

Жаба серая – *Bufo bufo* Linnaeus, 1758 Статус: 3 категория, вид, имеющий малую численность и спорадически распространенный на значительных территориях.

На пруду в устье р. Каланцас 30.05.2023 г. была отмечена вокализация одной особи серой жабы (56°56'31,3" с. ш., 75°56'48,2" в. д.).

Углозуб сибирский – *Salamandrella keyserlingii* Dybowski, 1870

Статус: 3 категория, вид, имеющий малую численность и спорадически распространенный на значительных территориях.

При учете численности методом ловчих заборчиков относительная численность сибирского углозуба на границе елово – соснового гипнового леса и молодого разнотравного осинника (56°55'42,3" с. ш., 75°56'30,7" в. д.) составляла 32 особи на 100 цилиндро / суток (46% от общего количества учтенных земноводных). Из них 37,5% составляли сеголетки.

Гадюка обыкновенная – *Vipera berus* Linnaeus, 1758

Статус: 3 категория, вид, имеющий малую численность и спорадически распространенный на значительных территориях.

По опросным данным довольно часто встречается в окрестностях с. Рагозино. В середине июля при обкашивании придворовой территории на улице Партизанской 6/1 была случайно «скошена» гадюка (черная морфа). При маршрутном учете (б. д. Неждановка – с. Рагозино) была встречена только одна особь (черная морфа) на заболоченном кочкарном лугу (56°58'7,9" с. ш., 75°53'27" в. д.). Относительная численность составила 0,1 особь /км.

Лебедь-шипун – *Cygnus olor* Gmelin, 1789

Статус: 3-я категория, вид, имеющий малую численность и спорадически распространенный на значительных территориях.

Двух взрослых птиц без признаков гнездового поведения и одну молодую (sad.) наблюдали 30.05.2023 г. на искусственном водоеме в долине р. Уй (56°56'31,3" с. ш., 75°56'48,2" в. д.) На следующий день кормящуюся моло-

дую птицу (возможно ту же) наблюдали на мелководном пожарном водоеме (пруду) на окраине села.

Журавль серый – *Grus grus* Linnaeus, 1758

Статус: 3 категория, вид, имеющий малую численность и спорадически распространенный на значительных территориях.

В полях у д. Рагозино вечером 30.05.2023 наблюдали две кормящиеся пары (56°55'59,6" с. ш., 75°56'11,8" в. д.). По опросным данным вид на исследуемой территории довольно обычен.

Веретенник большой – *Limosa limosa* Linnaeus, 1758.

Пару веретенников наблюдали 30.05.2023 г. на пойменных лугах (пастбище) левого берега р. Уй у (56°57'3,2" с. ш., 75°56'54" в. д.).

Дятел черный, желна – *Dryocopus martius* Linnaeus, 1758

Статус: 7 категория, вид, служащий объектом промысла, сбора для коллекций и других коммерческих целей, поэтому быстро сокращающий свою численность и могущий исчезнуть.

На маршруте по р. Шайтанка (березовые, березово-осиновые с примесью лиственницы и сосны леса) относительная численность желны составляла 0,8 особей /км (плотность 0,08 особей /га).

Соловей обыкновенный – *Luscinia luscinia* Linnaeus, 1758

Поющего самца слышали 30.05.2023 г. в черемухово-ивовых зарослях поймы левого берега р. Уй (56°57'3,2" с. ш., 75°56'54" в. д.).

Синехвостка – *Tarsiger cyanurus* Pallas, 1773

Статус: 3 категория, вид, имеющий малую численность и спорадически распространенный на ограниченных территориях.

По учетным данным в южнотаежных экосистемах плотность синехвостки составляет 0,1 гнездовая пара / га.

Чечевица длиннохвостая, урагус – *Uragus sibiricus* Pallas, 1773

Статус: 3 категория, вид, имеющий малую численность и спорадически распространенный на значительных территориях.

Нерегулярно встречается в зимний период в долине р. Уй.

Летяга обыкновенная – *Pteromys volans*, Linnaeus, 1758

Статус: 3 категория, редкий вид, широко распространенный на значительных территориях.

По опросным данным изредка (не более 1–2 особей за промысловый сезон у одного охотника) попадает в капканы на соболя (куницу).

Мышовка лесная – *Sicista betulina* Pallas, 1773

Статус: 3 категория, вид, имеющий малую численность и спорадически распространенный на значительных территориях.

При учете численности мелких млекопитающих методом ловчих заборчиков относительная численность лесной мышовки на границе елово-соснового гипнового леса и молодого разнотравного осинника составляла 9,71 особей на 100 цилиндров/ суток (17% от общего количества учтенных мелких млекопитающих). Из них 100% составляли взрослые особи.

Выдра – *Lutra lutra* Linnaeus, 1758

Статус: 1 категория, вид, численность особей которого уменьшилась до критического уровня и продолжает сокращаться таким образом, что в ближайшее время он может исчезнуть.

По опросным данным крайне редко встречается по р. Уй.

Гоголь – *Vucephala clangula* Linnaeus, 1758

Вид, внесенный в Приложение № 4 к Красной книге Омской области.

На пруду в устье р. Каланцас в 30.05.2023г. было отмечено 4 самки и 3 самца гоголя. Там же 24.07.2023 г. была отмечена самка с выводком из 4 уже летающих птенцов. По опросным данным вид достаточно обычен, добывается охотниками, особенно часто в период осеннего пролета.

Вяхирь – *Columba palumbus* Bonoparte, 1854

Вид, внесенный в Приложение № 4 к Красной книге Омской области.

В лесах таежного типа относительная численность в окрестностях села в мае составляла 0,06 гнездовых пар/км.

Сова ушастая – *Asio otus* Linnaeus, 1758

Вид, внесенный в Приложение № 4 к Красной книге Омской области.

Гнездо ушастой совы было обнаружено в долине р. Уй около д. Рагозино (56°56'56,5" с. ш., 75°56'43,3" в. д.). Располагалось в сосновой посадке в старом вороньем гнезде на сосне на высоте 8 м. Примечательно, что под деревом находилось гнездо краквы с 11 насиженными яйцами.

Дятел трехпалый – *Picooides tridactylus* Linnaeus, 1758

Вид, внесенный в Приложение № 4 к Красной книге Омской области.

Плотность трехпалого дятла в послегнездовой период (дата учета: 24.07.2023) составляла 0,02 особи / га.

Горихвостка – чернушка – *Phoenicurus ochruros*, Chmelin 1774

Вид, внесенный в Приложение № 4 к Красной книге Омской области.

Самец горихвостки-чернушки был встречен 25.07.2023 г. в ивняках долины р. Уй (56°56'39" с. ш., 75°56'44,4" в. д.).

В соответствии с региональным природоохранным законодательством [4, 5], в 2025 г. предполагается переиздание Красной книги Омской области, в связи с чем полученные данные о встречаемости и численности отдельных видов позвоночных животных в окрестностях с. Рагозино Седельниковского района Омской области являются весьма актуальными.

Библиографический список

1. Равкин Ю. С., Ливанов С. Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск : Наука, 2008. 205 с.
2. Равкин Ю. С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск, 1967. С. 66–75).
3. Красная книга Омской области. 2-е изд., перераб. и доп. Омск : Изд-во ОмГПУ, 2015. 636 с.
4. Постановление Правительства Омской области от 6 июля 2005 года № 76-п «Об утверждении Порядка ведения Красной книги Омской области и отдельных перечней животных, растений и других организмов» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/943017734> (дата обращения: 12.10.2023).

5. Постановление Правительства Омской области от 21 июля 2021 года № 305-п «О внесении изменений в постановление Правительства Омской области от 6 июля 2005 года № 76-п» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/574811457> (дата обращения: 12.10.2023).

ПАТТЕРНЫ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЧИСЛЕННОСТИ ЖУЖЕЛИЦ (COLEOPTERA, CARABIDAE) В ХВОЙНЫХ БИОЦЕНОЗАХ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

***Р. А. Суходольская*^{1,2}, *О. В. Бакин*³, *Т. А. Гордиенко*¹, *Д. Н. Вавилов*⁴**

¹ *Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, sukhodolskayaraisa@gmail.com,*

² *Казанский государственный медицинский университет,*

³ *Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник,
vkz@mail.ru,*

⁴ *Казанский (Поволжский) федеральный университет,
sabansev.ipen@gmail.com*

В рамках мониторинга почвенной макрофауны в Волжско-Камском заповеднике были проведены учеты численности жуков – жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в десяти кварталах заповедника, которые представляют собой хвойные биотопы. Жуков отлавливали стандартно ловушками Барбера дважды в сезон – весной и осенью – в течение трех последовательных лет в каждом квартале. Всего отработано 1060 лов/сут., отловлено 1323 экземпляра жуков. Выявлено три паттерна динамики численности в течение сезона, когда весенняя численность сообществ выше осенней, когда выше осенняя численность и когда численность не изменяется в течение сезона. В хвойных биотопах заповедника преобладает первый вариант.

Ключевые слова: жужелицы, динамика численности, заповедники, влияние биотопа, вегетационный сезон, тип размножения.

Жужелицы (Coleoptera, Carabidae) – одно из самых больших семейств жуков. Они играют большую роль в биоценозах как энтомофаги, регулирующие численность наземных беспозвоночных. Они считаются экономически выгодными, поскольку уничтожают как личинок, так и имаго вредных насекомых, снижая их численность [1, 2]. Жужелицы обитают в широком спектре биоценозов – лесных и степных, агроландшафтах и урбоценозах [3, 4]. Они занимают лидирующие позиции в них благодаря разнообразию способов питания и эврибионтности [5, 6]. В то же время существуют и редкие эндемичные виды.

Естественная зона хвойных лесов располагается между тундрой с севера и лиственными лесами – с юга. Это самый большой биом в мире, раскинувшийся в Евразии и Северной Америке. Основными лесообразующими по-

родами являются *Picea*, *Pinus*, *Abies sibirica* Ldb. and *Larix sibirica* Ldb. Во многих местах хвойные леса являются пирогенными формациями, то есть выросшими на местах горевших лесов [7]. В России хвойные леса занимают естественную зону тайги и покрывают около 70% лесной площади страны. Эта территория характеризуется низкими температурами и влажностью воздуха. В последние десятилетия хвойные леса подвержены сильной антропогенной активности [8, 9]. Вырубка, загрязнения, фрагментация, аридизация и другие факторы влияют на фауну насекомых в хвойных лесах [10, 11]. Это относится и к жужелицам. Будучи одним из наиболее больших семейств жужелицы населяют разнообразные ниши в хвойных лесах, причем фауна и структура карабидокомплексов значительно различается в хвойных и лиственных лесах [12, 13].

Наше исследование посвящено оценке жужелиц хвойных биотопов Волжско-Камского заповедника. Последний имеет два участка – Раифский и Саралинский, которые расположены на достаточном расстоянии друг от друга. В первом участке наблюдения за жужелицами велись начиная с 60-х годов прошлого века, в Саралинском наши исследования являются пионерскими.

Учитывая ограниченный листаж, в данном сообщении представлены данные только по паттернам вегетационной активности жужелиц.

Исследования проводились в десяти кварталах Волжско-Камского заповедника. Все они представляют хвойные леса (сосняки беломошники, вейниковые, орляковые, ландышевые). В каждом квартале наблюдение велись, как правило, в течение трех последовательных лет. Весной и осенью устанавливались ловушки Барбера (10 штук на расстоянии 15 м друг от друга в одну линию), которые экспонировались в течение пяти суток. Всего было отработано 1060 ловушко/суток, отловлено 1323 экземпляра жужелиц. Собранный материал анализировали в лаборатории. Определение жуков осуществляли по определителю А. Ю. Исаева [14].

При анализе сезонной изменчивости численности жужелиц в исследованных плотках было обнаружено три паттерна: (1) когда весенняя численность выше осенней, (2) когда численность в начале сезона и в конце одинакова и (3) когда осенняя численность выше весенней. В качестве иллюстрации результатов анализа представляем рисунок, характеризующий динамику численности жужелиц в одном из исследованных кварталов. В этом квартале в 2017 г. реализовался второй паттерн (весенняя и осенняя численности равны), в 2018 г. – третий паттерн, а в 2019 г. – первый (рис.).

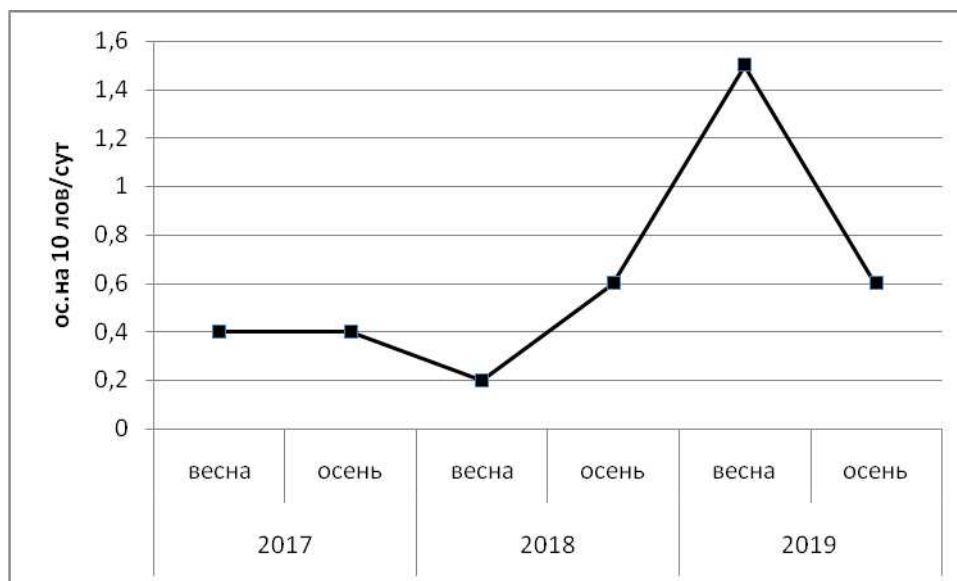


Рис. Динамика численности жужелиц в квартале 46 Саралинского участка Волжско-Камского заповедника

Подобным образом были проанализированы результаты по остальным исследованным кварталам. Суммарно преобладает первый паттерн (64% рассмотренных случаев). На второй и третий паттерн приходится по 18%.

Мониторинг фауны жужелиц достаточно широко распространен, в том числен и в хвойных лесах [15, 16]. Авторы отмечают относительную стабильность видового состава карабид при изменчивости динамической активности как отдельных видов, так и карабидокомплексов в целом. По всей видимости на численность жужелиц оказывают значительное влияние погодные условия года, в частности, так и такие факторы следы, как изменчивость температурных и влажностных параметров почвы. Последнее было проиллюстрировано на некоторых видах жужелиц достаточно ярко [17, 18]. Не последнюю роль играет и сам состав карабидокомплексов. Превалирование весенней численности над осенней говорит в пользу того, что сообщество включает в основном виды с весенним типом размножения. Аналогичная мысль проводится и в работе, где изучали сезонную динамику численности, но в градиенте урбанизации [19]. Этот вопрос и будет темой наших дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Estimation and heavy metals analysis of a single unani drug badranjboya (*Melissa officinalis*) microbial load, pesticides residue, aflatoxin / S. Nafees, S. Rehman, Rahman, K. M. Amin // *Pharmacophore*. 2018. Vol. 9. No. 4. P. 1–12.
2. Faid S. M., Al-Matrafi M. M. Evaluation of okra pods quality (*Abelmoschus esculentus* L.) after reduction of pesticides // *Journal of Biochemical Technology*. 2018. Vol. 9. No. 4. P. 81.
3. Biodiversity revision of a large arctic region as a basis for its monitoring and protection under conditions of active economic development (Nenetsky Autonomous Okrug, Russia) / V. V. Rozhnov, I. A. Lavrinenko, V. Yu. Razzhivin, O. L. Makarova // *Nature Conservation Research*. 2019. Vol. 4. No. 2. P. 1–28. doi: 10.24189/ncr.2019.015

4. Ruchin A. B., Alekseev S. K., Khapugin A. A. Postfire fauna of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) in forests of the Mordovia State Nature Reserve (Russia) // Nature Conservation Research. 2019. Vol. 4. P. 11–20. doi: 10.24189/ncr.2019.009
5. Jung J. K., Lee J. H. Forest-farm edge effects on communities of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) under different landscape structures // Ecological research. 2016. Vol. 1. P. 799–810.
6. Assemblages of carabid beetles (Col. Carabidae) and ground-dwelling spiders (Araneae) in natural and artificial regeneration of pine forests / A. Kosewska, E. Topa, M. Nietupski, R. Kędzior // Community Ecology. 2018. Vol. 19. No. 2. P. 156–167.
7. Wallenius T. H., Lilja S., Kuuluvainen T. Fire history and tree species composition in managed *Picea abies* stands in southern Finland: Implications for restoration // Forest Ecology and Management. 2007. Vol. 250. P. 89–95. doi: 10.1016/j.foreco.2007.03.016
8. Bazhina E. V. Siberian fir (*Abies sibirica*) state and chemical element allocation in tree crown in forest ecosystems of Protected Areas in south of Krasnoyarsk Region (Russia) // Nature Conservation Research. 2018. Vol. 3. P. 40–53. doi: 10.24189/ncr.2018.064
9. Aleinikov A. A. The fire history in pine forests of the plain area in the Pechora-Ilych Nature Biosphere Reserve (Russia) before 1942: possible anthropogenic causes and long-term effects // Nature Conservation Research. 2019. Vol. 4. P. 21–34. doi: 10.24189/ncr.2019.033
10. Grebennikov K. A. Study of biodiversity of nature reserves of the Russia in the digital age: experience and perspectives // Nature Conservation Research. 2016. Vol. 1. P. 1–10. doi: 10.24189/ncr.2016.012
11. İslamoglu M., Karacaoglu M. Efficacy of the some insecticide used in the sunn pest *Eurygaster* spp. (Het; Scutelleridae) struggle on the adults of *G. monspeliensis* (Picard) (Hymenoptera: Scelionidae) Parasitoid // Entomology and Applied Science Letters. 2018. Vol. 5. P. 21–26.
12. Comparison of ground beetle communities (Coleoptera: Carabidae) between coniferous and deciduous forests in agricultural landscapes / J. K. Jung, S. T. Kim, S. Y. Lee, J. S. Yoo, J. H. Lee // Journal of Forest Science. 2013. Vol. 29. P. 211–218. doi: 10.7747/JFS.2013.29.3.211
13. Chai Z., Wang D. A comparison of species composition and community assemblage of secondary forests between the birch and pine-oak belts in the mid-altitude zone of the Qinling Mountains, China // Peer J. 2016. Vol. 4. P. e1900. doi: 10.7717/peerj.1900
14. Исаев А. Ю. Определитель жесткокрылых Среднего Поволжья. Часть 1. Aderphaga и Мухорhaga). Ульяновск, 2002. 70 с.
15. Alekseev A., Ruchin B. Fauna and Abundance of Ground Beetle (Coleoptera, Carabidae) in Pine Forests // Entomology and Applied Science Letters. 2020. Vol. 7. No. 1. P. 1–9.
16. Epigeic Carabids (Coleoptera, Carabidae) as bioindicators in different variants of scots pine regeneration: implication for forest landscape management / A. Kosewska, K. Kedzior, R. Nietupski, M. Borkowski // Sustainability. 2023. Vol. 15. P. 13322. doi: 10.3390/su151813322.
17. Climatic factors can differently affect body size in closely related species (the case study in ground beetles) / T. L. Ananina, A. A. Saveliev, R. R. Shagidullun, T. A. Gordienko, R. A. Sukhodolskaya // Российский журнал прикладной экологии. 2023. № 3. С. 4–11.
18. Dynamics of ground beetle (Carabidae) populations at rock dumps in an open-pit coal mine: modeling the influence of environmental factors / S. L. Luzyanin, A. A. Saveliev, R. R. Shagidullin, R. A. Sukhodolskaya // Acta Biologica Sibirica. 2023. Vol. 9. P. 709–727. doi: 10.5281/zenodo.8404574
19. Seasonal dynamics of common ground beetles (Coleoptera: Carabidae) along an urbanisation gradient near Sorø, Zealand, Denmark / Z. Elek, A. G. Howe, M. K. Enggaard, G. L. Lövei // Entomologica Fennica. 2017. Vol. 28. P. 27–40.

**МАКРОЗООБЕНТОС ОЗЕР ДОЛГОЕ И ДРУЖИНИНО
МАНТУРОВСКОГО КЛАСТЕРА
ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА
«КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА**

Е. А. Урекин, Т. Л. Соколова

Костромской государственной университет, eureka@mail.ru

Изучена фауна макробеспозвоночных двух озер, расположенных на территории Мантуровского кластера государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына. На основе проведенных исследований составлен фаунистический список донных беспозвоночных, а также определены количественные показатели, разнообразие и выравненность сообществ зообентоса. Дана оценка воды в соответствии с сапробиологической системой Пантле-Букка.

Ключевые слова: заповедник «Кологривский лес», Мантуровский кластер, зообентос, озеро Долгое, озеро Дружинино, качественные и количественные показатели, сапробность.

Донные макробеспозвоночные (макрозообентос) и их сообщества (зообентоценозы) являются чувствительными индикаторами экологического состояния вод. Это обусловлено такими факторами, как длительные жизненные циклы, слабовыраженная горизонтальная и вертикальная мобильность данной группы [1]. Актуальность и важность исследования структуры зообентоценозов на территории Мантуровского кластера заповедника «Кологривский лес» связана с осуществлением государственного экологического мониторинга.

Целью работы была оценка качественных и количественных показателей и структуры зообентоценозов озер Долгое и Дружинино Мантуровского кластера заповедника «Кологривский лес» с последующим определением сапробности вод.

Материал для исследования был представлен пробами зообентоса, отобранными в озерах Долгое и Дружинино в июне 2022 г. На озере Долгое пробы отбирали на 5 станциях, на озере Дружинино – на 4 станциях. На каждой станции отбирали по одной качественной и количественной пробе. Всего было отобрано 18 проб (9 качественных и 9 количественных).

Сбор и обработку проб проводили по общепринятым в гидробиологии методикам [2, 3]. Материал отбирали при помощи дночерпателя системы Эркмана-Берджи с площадью захвата 0,025 м². Оценку экологического состояния производили с использованием сапробиологической системы Пантле-Букка в модификации Н. А. Дзюбан и С. П. Кузнецовой [4, 5]. Фаунистическое сходство определяли при помощи индекса биотической дисперсии Коха. Для оценки биоразнообразия использованы индексы видового разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу [5].

Всего за период исследования было обнаружено 23 низших определяемых таксона (далее – НОТ), относящихся к 3 типам (Annelida, Mollusca, Arthropoda) и 4 классам (Clitellata, Bivalvia, Gastropoda и Insecta). Таксономический состав зообентоценозов представлен в таблице 1.

Таблица 1

Таксономический состав зообентоценозов озер Долгое и Дружинино

НОТ	Озеро Долгое, станция					Озеро Дружинино, станция			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
Класс Clitellata									
Сем. Tubificidae									
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede, 1862					+				
Сем. Erpobdellidae									
<i>Erpobdella octoculata</i> Linnaeus, 1758				+					
Класс Bivalvia									
<i>Sphaerium</i> sp. Scopoli, 1777	+	+	+	+	+	+			+
Класс Gastropoda									
<i>Viviparus viviparus</i> Linnaeus, 1758		+	+			+	+	+	
<i>V. contectus</i> Millet, 1813	+	+		+		+			+
<i>Bithynia tentaculata</i> Linnaeus, 1758	+						+		
<i>Valvata piscinalis</i> O. F. Müller, 1774			+						
<i>Lymnaea stagnalis</i> Linnaeus, 1758		+							
<i>Planorbarius corneus</i> Linnaeus, 1758				+			+	+	
<i>Choanomphalus riparius</i> Wasterlund, 1865	+								+
Класс Insecta									
Отр. Ephemeroptera									
<i>Siphlohrurus linneanus</i> Eaton, 1871			+						
<i>S. aestivalis</i> Eaton, 1903									+
<i>Cloeon dipterum</i> Linnaeus, 1761		+							
Отр. Odonata									
<i>Cordulia aenea</i> Linnaeus, 1758	+	+		+	+				+
<i>Somatochlora metallica</i> van der Linden, 1885							+		
Coenagrionidae gen. sp. Kirby, 1890			+				+		
Отр. Trichoptera									
<i>Limnephilus</i> sp. Leach in Brewster, 1815				+					
<i>Limnephilus</i> cf. <i>nigriceps</i> Zetterstedt, 1840								+	
Отр. Coleoptera									
<i>Ilybius guttifer</i> Gyllenhal, 1808							+		
<i>Dytiscus</i> sp. (larvae) Linnaeus, 1758	+	+							
Отр. Megaloptera									
<i>Sialis sordidiata</i> Klingstedt, 1932						+			
Отр. Diptera									
Chironomini gen. sp.				+					
Ceratopogonidae gen. sp. Newman, 1834									+

Таким образом, наибольшее количество обнаруженных видов характерно для представителей классов *Gastropoda* и *Insecta*. В целом, таксономический состав зообентоса характерен для лентических экосистем, что подтверждается малой видовой представленностью ручейников, поденок, большекрылых и веснянок. В большей степени представлены брюхоногие моллюски, обладающие малоподвижным образом жизни и предпочтением в обитании в стоячих водах.

Стоит отметить, что зообентос исследованных озер в различных станциях отбора проб имел некоторые отличия в видовом составе. Так, индекс биотической дисперсии Коха для озер Долгое и Дружинино составил соответственно 16,2 и 11,9%, что говорит о низком соответствии видовых списков станций и характеризует распределение зообентоса как гетерогенное в каждом из озер. Причиной этому, вероятно, служат различия на станциях в характере донных отложений, грунта и глубины. Однако при сравнении фауны зообентоса исследованных озер определен средний уровень соответствия (индекс Коха составил 40,91%). Данный факт может свидетельствовать о схожести биотопических особенностей исследованных озер в целом. Такие виды, как *L. hoffmeisteri*, *E. octoculata* и *Sphaerium* sp. характерны для озера Долгое.

Количественная обработка проб заключалась в пересчете первичных данных численности и биомассы на 1 м², определении стандартной ошибки среднего (S_x) и коэффициента вариации (C_v). Результаты обработки представлены в таблице 2.

Таблица 2

Количественные показатели зообентоценозов озер Долгое и Дружинино

Биотоп	Группа	Численность, экз./м ² $\bar{X} \pm S_x$	C_v , %	Биомасса, г/м ² $\bar{X} \pm S_x$	C_v , %
Озеро Долгое	<i>Clitellata</i>	8,60±6,23	161,86	0,21±0,19	200,00
	<i>Bivalvia</i>	27,60±10,69	86,63	6,44±2,89	100,46
	<i>Gastropoda</i>	38,60±12,88	74,61	76,66±39,61	115,54
	<i>Insecta</i>	36,40±6,19	37,99	1,86±1,08	129,57
Озеро Дружинино	<i>Clitellata</i>	–	–	–	–
	<i>Bivalvia</i>	8,00±5,05	126,25	1,27±0,75	118,11
	<i>Gastropoda</i>	37,50±8,86	47,23	84,29±21,52	85,45
	<i>Insecta</i>	29,75±11,06	74,32	1,90±0,75	78,95

Исходя из данных таблицы видно, что в зообентосе озер Долгое и Дружинино по численности и биомассе преобладают представители класса *Gastropoda*. Наибольшего развития достигали такие виды, как *V. viviparus*, *V. contectus* и *C. riparius*. Как ранее отмечалось, вероятно, это связано с гидрологическим режимом водоема. Субдоминантной группой по численности стал класс *Insecta*, что характерно для зообентоса пресных стоячих вод. Среди насекомых наиболее численно представлены личинки амфибиотических представителей (*C. aenea*, *C. dipterum* и *Chironomiidae*). Меньше всего в коли-

качественном отношении представлены классы Clitellata и Bivalvia. Возможно, условия водоемов не соответствуют биотопической приуроченности представителей этих групп, что лимитирует их развитие.

Стоит отметить, что коэффициент вариации для большинства показателей превышает 30% и в ряде случаев превышает 100%. Это свидетельствует о большом разбросе и меньшей выравненностью исследуемых значений. В свою очередь, это говорит о неравномерном пространственном распределении зообентонтов исследованных озер.

С целью обобщения данных о количественном и качественном развитии зообентоценозов и определения их структуры были применены индекс разнообразия Шеннона и индекс выравненности Пиелу. Результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3

Разнообразие и выравненность зообентоценозов озер Долгое и Дружинино

Озеро Долгое	Индекс Шеннона	Индекс Пиелу
Станция 1	1,47	0,82
Станция 2	1,84	0,95
Станция 3	1,39	0,86
Станция 4	1,91	0,98
Станция 5	1,09	0,99
$\bar{X} \pm S_x$	1,54±0,15	0,92±0,03
Cv, %	22,08	8,70
Озеро Дружинино	Индекс Шеннона	Индекс Пиелу
Станция 1	1,33	0,96
Станция 2	1,75	0,98
Станция 3	1,10	1,00
Станция 4	1,63	0,91
$\bar{X} \pm S_x$	1,45±0,15	0,96±0,02
Cv, %	20,00	4,17

Разнообразие сообществ донных макробеспозвоночных характеризуется низким уровнем, в то время как выравненность – высоким. Это так же подтверждает факт неравномерного распределения донных беспозвоночных в исследованных водоемах.

Результаты биоразнообразия и количественного состава использованы нами при определении показателей сапробности воды исследованных озер. Результаты представлены в таблице 4.

Сапробность вод в озерах Долгое и Дружинино

Озеро Долгое	Сапробное значение	Зона сапробности	Класс качества
Станция 1	2,14	β-мезосапробная	III
Станция 2	1,71	β-мезосапробная	III
Станция 3	1,94	β-мезосапробная	III
Станция 4	2,35	β-мезосапробная	III
Станция 5	3,60	Полисапробная	V
$\bar{X} \pm S_x$	2,35±0,33	β-α-мезосапробная	III-IV
$S_v, \%$	22,08		
Озеро Дружинино	Сапробное значение	Зона сапробности	Класс качества
Станция 1	1,90	β-мезосапробная	III
Станция 2	1,62	β-мезосапробная	III
Станция 3	1,80	β-мезосапробная	III
Станция 4	2,00	β-мезосапробная	III
$\bar{X} \pm S_x$	1,83±0,08	β-мезосапробная	III
$S_v, \%$	8,74		

Таким образом, значение индекса сапробности марозообентоса характеризуют воды исследованных озер как β-мезосапробные (III класс качества) – вода слабо (умеренно) загрязненная. Такие показатели могут быть связаны с происходящей эвтрофикацией водоемов, что подтверждается результатами других исследований [6]. Отметим, что отличие качественных и количественных показателей зообентоса на различных станциях озер сказалось незначительно при сапробиологическом анализе.

Пространственная организация зообентоценозов исследованных озер Долгое и Дружное характеризуется гетерогенностью качественных и количественных показателей. Зообентос как наиболее стационарный и долгоживущий компонент водных экосистем имеет важное значение в экологическом мониторинге, в том числе и на заповедных территориях.

Библиографический список

1. Безматерных Д. М. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 2007. № 85. С. 1–86.
2. Биоиндикация водных экосистем : учеб.-метод. пособие / М. В. Сиротина, Л. В. Мурадова, И. Г. Криницын, Г. А. Семенова. Кострома : КГУ, 2018. С. 210–223.
3. Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. М. : Макс Пресс, 2003. 195 с.
4. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах : учебное пособие для высших учебных заведений / Н. В. Зуева, Д. К. Алексеев, А. Ю. Куличенко, Е. А. Примак, Ю. А. Зуев, Е. Ю. Воякина, А. Б. Степанова. СПб. : Российский государственный гидрометеорологический университет, 2019. 140 с.
5. Шитиков В. К., Зинченко Т. Д., Розенберг Г. С. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
6. Бормачева Е. Н., Сиротина М. В. Оценка экологического состояния озер Долгое и Дружинино Мантуровского района Костромской области по показателям зоопланктона //

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. 229–233.

ПОЧВЕННАЯ МАКРОФАУНА В ПЕРВЫЕ ТРИ ГОДА ПОСЛЕ РУБКИ ЕЛЬНИКА ЧЕРНИЧНОГО (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

А. А. Фатеева, А. А. Дитц

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

Показаны изменения состава, численности и трофической структуры почвенной макрофауны после рубки леса. Механическое воздействие лесозаготовительной техники на почву привело к сокращению числа встречающихся таксонов, резкому уменьшению численности, полному выпадению из трофических цепей сапрофагов и фитофагов. Оценка уязвимости крупных беспозвоночных к такому типу антропогенного воздействия может быть положена в основу стратегии сохранения биоразнообразия почвенной биоты лесов средней тайги.

Ключевые слова: макрофауна, беспозвоночные, почва, ельник, сплошная рубка, Республика Коми.

Наиболее мощный дестабилизирующий фактор на всех уровнях организации таежных экосистем – антропогенное воздействие. Нарушение древесного полога в результате лесозаготовок с часто сопутствующими им пожарами разной интенсивности и, как следствие, массовое размножение насекомых-филлофагов вызывают значительные изменения фитоценотической структуры таежных ландшафтов. Поврежденные насаждения теряют биологическую устойчивость и становятся ареной для процессов, обуславливающих смену биотических сообществ, вплоть до полного исчезновения лесных экосистем на обширных территориях. Ведущими механизмами сохранения функциональной стабильности является способность биоты восстанавливать свои свойства после временного внешнего воздействия, так называемая устойчивость «регенерационного» типа [1].

В последние десятилетия леса Республики Коми претерпевали возрастающее антропогенное воздействие. Сплошными рубками за 40–50 лет пройдено 5,5 млн гектаров, около 300 тыс. гектаров лесной площади передано из гослесфонда промышленным и хозяйственным предприятиям и организациям [2]. К настоящему времени более 25% лесной территории Республики Коми затронуто различными способами рубок. Освоение лесных ресурсов, в частности проведение рубок, привело к существенному изменению растительно-почвенного покрова этого региона [3].

Изучение влияния рубок на почву и обитающих в ней беспозвоночных актуально из-за возрастающего освоения природных экосистем [4]. Сокращение почвенного биоразнообразия может ухудшить важные, осуществляемые ими экосистемные функции [5]. Практический интерес представляет изучение влияния механического воздействия лесозаготовительной техники (Форвардер и Харвестер) на почвенную макрофауну. Поэтому цель нашей работы заключается в оценке состава и численности крупных беспозвоночных механически нарушенной почвы в течение первых трех лет после рубки леса.

Исследования проводили в Республике Коми, подзоне средней тайги, на территории Сыктывкарского лесничества, в ельнике чернично-зеленомошном (N 61°55'01,8", E 50°32'20,6"), рубка которого была проведена в октябре 2020 г.

Преимущество данного исследования в том, что пробы были отобраны на одном и том же участке непосредственно до проведения рубки, в июле 2020 г., и далее каждый год, в течение трех лет после ее проведения, что в исследованиях по изучению данного типа воздействия на различные компоненты живой природы встречается крайне редко. Таким образом, у нас есть возможность более точно изучить все последствия рубки на сообщества почвенных беспозвоночных именно в первые годы после нарушения, а также наблюдать механизмы поддержания устойчивости почвенной макрофауны на начальной стадии восстановительной сукцессии.

Технически на лесосеке выделяют несколько технологических участков, которые подвергаются воздействию различной интенсивности. В первую очередь закладываются трелевочные волока или технологические коридоры, по которым осуществляется многократный проезд техники и иногда волочение стволов срубленных деревьев. Это наиболее нарушенные участки на всей вырубке, на которых заметны изменения почвенного покрова, возникающие при трелевке древесины Форвардером. Затем разрабатываются пасеки, именно с них происходит рубка деревьев и их изъятие Харвестером. Пасечные участки считаются наименее нарушенными, так как почвенный покров не подвергается воздействию колесной лесозаготовительной техники [6].

Для оценки состояния почвенной макрофауны отбирали по 24 пробы размером 25x25 см до рубки леса – в июле 2020 г., и после рубки леса (на трелевочных волоках, как самых нарушенных участках вырубке) – в июле 2021, 2022 и 2023 гг. Всего было разобрано 96 проб. В лабораторных условиях проведена выгонка беспозвоночных из этих образцов, подсчитана численность таксонов и определен состав почвенных зооценозов до и после рубки. Влажность почвы оценивали весовым методом, а температуру почвы/субстрата измеряли термометром HANNA Checktemp. Различия между вариантами эксперимента оценивали по критерию Манна–Уитни с поправкой Бонферрони при $p < 0,05$. Статистическую обработку результатов (описательную статистику) проводили в программе PAST 4.0 и MicrosoftExcel 7.0.

Показано, что средняя численность почвенной макрофауны в первые три года после рубки леса уменьшилась в десять раз ($U = 21$; $p < 0,0001$) со

143,9 экз./м² до рубки, до критического значения – 6,8 экз./м² на второй год после ее проведения, и немного увеличившись к третьему году до 13,9 экз./м² (рис. 1А). За весь период исследования общая численность за три года после рубки снизилась до 24,5 экз./м², что почти в шесть раз ниже общей численности макрофауны на этом участке до рубки (рис. 1В).

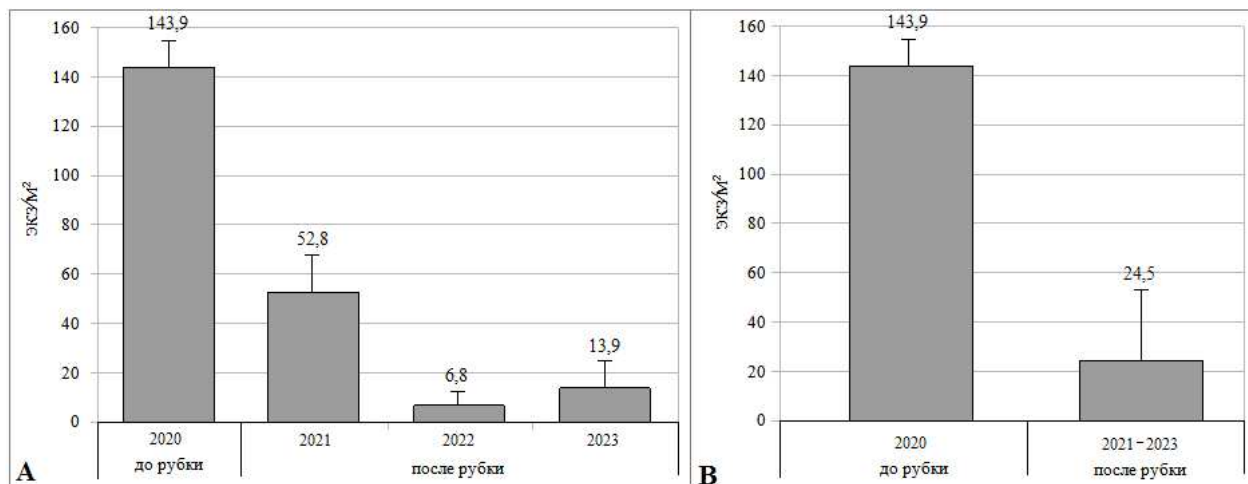


Рис. 1. Общая численность (экз./м², по оси у) почвенной макрофауны до рубки (июль 2020 г.) в первые три года (А) и в среднем за три года (В) после ее проведения (июль 2021–2023 гг.) на волоках

Непосредственно после рубки наблюдается ожидаемый остаточный состав почвенной фауны, представленный группами беспозвоночных, составляющих ядро фауны в среднетаежных лесах. До рубки леса нами было отмечено 13 таксонов представителей почвенной макрофауны, после рубки общее число таксонов в течение трех лет составило 10, и их численность снизилась в разы (рис. 2).

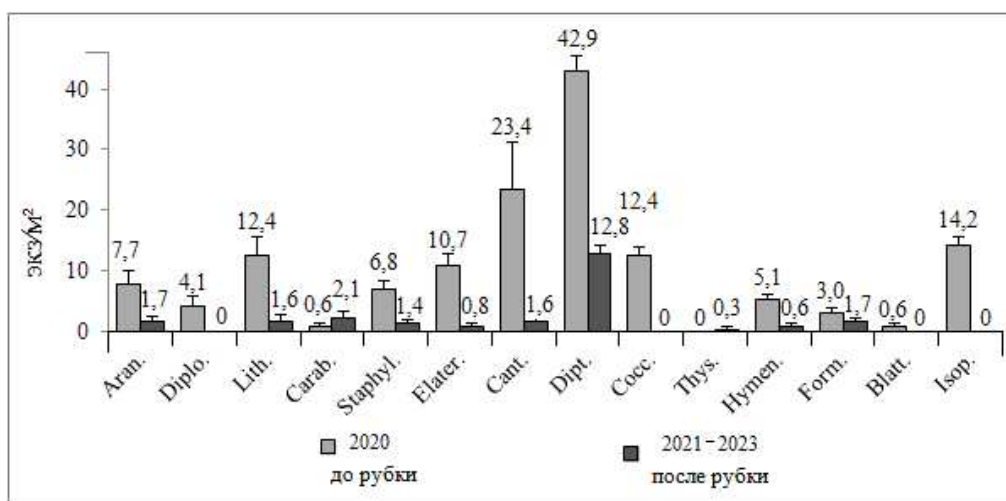


Рис. 2. Средняя численность таксонов макрофауны до и после рубки

В 2021 г. выявлено девять, 2022 г. – четыре, 2023 г. – пять таксонов. В течение первых трех лет после рубки соотношение групп изменяется вслед-

ствие обеднения почвенной фауны. В число доминантов до рубки входят личинки Diptera, в первый год после рубки они сохраняют свою численность на высоком уровне, полностью исчезая к третьему году, как и личинки жуков Cantharidae и Elateridae, а также представители отряда Hymenoptera. Не менее важным является и то, что в первый год после рубки отмечено появление отряда Thysanoptera – фитофагов, вредителей и переносчиков вирусов растений агроценозов, до рубки не встречающихся на этом участке. Но в первый год после проведения рубки выпадают редкие и наиболее важные группы, такие как Diplopoda, Blattoptera, Coccidae и Isopoda (рис. 3).

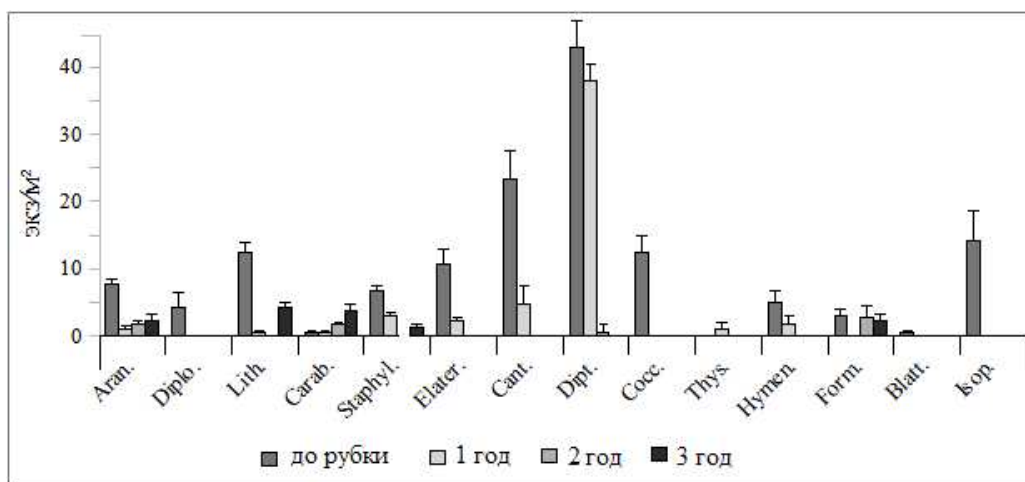


Рис. 3. Средняя численность (экз./м², по оси у) таксонов макрофауны до и в первые три года после рубки

Соотношение трофических групп меняется в сторону абсолютного преобладания зоофагов, полному выпадению фитофагов и сапрофагов из трофической цепи к третьему году (рис. 4). Это влечет за собой снижение осуществляемых данными группами экологических функций в антропогенно нарушенных почвах. На начальной стадии сукцессии еще нельзя говорить о восстановлении почвенной макрофауны, наоборот, данная группа претерпевает перестройку всех элементов трофической цепи.

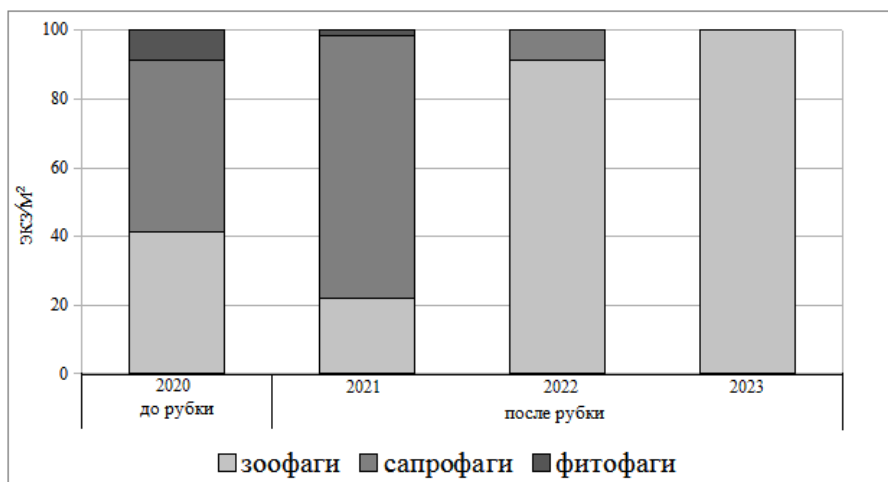


Рис. 4. Трофическая структура макрофауны до и после рубки

Механическое воздействие лесозаготовительной техники на почву приводит к общему уменьшению численности макрофауны: со 143,9 экз./м² – до рубки, до значений 52,8 экз./м² – в первый год, 6,8 экз./м² – на второй год и 13,9 экз./м² – на третий год после проведения рубки. Наблюдается обеднение макрофауны: с 13 таксонов – до рубки до пяти таксонов – к третьему году после рубки. Выпадают редкие и наиболее важные группы крупных беспозвоночных. Отмечено полное выпадение из трофических цепей сапрофагов и фитофагов, абсолютное доминирование зоофагов к третьему году после проведения рубки, что свидетельствует о снижении функциональной роли, осуществляемой почвенной макрофауной в нарушенных экосистемах.

Восстановление популяций крупных почвенных беспозвоночных на вырубках зависит как от скорости регенерации их микроместообитаний и возможности расселения беспозвоночных с соседних участков [7], так и от уровня разнообразия сообщества до нарушений [1]. Известно, что основные изменения почвенной макрофауны происходят в течение одного-двух лет после нарушения, а уже через 14–15 лет после рубки фауна близка по составу к ненарушенным участкам [8]. Постепенное нарастание фитомассы и количества опада мелколиственных деревьев способствует увеличению численности крупных сапрофагов [1]. По прошествии 30 лет после рубки почвенная фауна практически восстанавливается до естественных значений [8].

Выявленные изменения состава и численности почвенной макрофауны в первые три года после рубки леса, оценка уязвимости крупных беспозвоночных к такому типу антропогенного воздействия могут быть положены в основу стратегии сохранения биоразнообразия почвенной биоты лесов средней тайги.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-24-00530, <https://rscf.ru/project/23-24-00530/>.

Библиографический список

1. Бессолицына Е. П. Устойчивость сообществ почвенных беспозвоночных южнотажных геосистем Нижнего Приангарья в условиях антропогенного воздействия // География и природные ресурсы. 2011. № 1. С. 100–106.
2. Леса Республики Коми / под ред. Г. М. Козубова, А. И. Таскаева. М., 1999. 332 с.
3. Дымов А. А., Милановский Е. Ю. Изменение органического вещества таежных почв в процессе естественного лесовозобновления растительности после рубок (средняя тайга Республики Коми) // Почвоведение. 2014. № 1. С. 1–9.
4. A meta-analysis of the effects of harvesting on the abundance and richness of soil fauna in boreal and temperate forests / A. Kudrin, E. Perminova, A. Taskaeva, A. Ditts, T. Konakova // Forests. 2023. Vol. 14. No. 5. P. 923. doi: 10.3390/f14050923.
5. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality / C. Wagg, S. F. Benders, F. Widmer, M. G. A. van der Heijden // PNAS. 2014. Vol. 111. No. 14. P. 5266–5270. doi: 10.1073/pnas.1320054111
6. Дымов А. А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. № 7. С. 787–798. doi: 10.7868/S0032180X17070024
7. Fahrig L., Merriam G. Conservation of fragmented populations // Conservation Biology. 1994. Vol. 8. P. 50–59. doi: 10.1046/J.1523-1739.1994.08010050.X

8. Effect of clear-cutting on the understory vegetation, soil and diversity of litter beetles in scots pine-dominated forest / L. Česonienė, R. Daubaras, V. Tamutis, V. Kaškonienė, P. Kaškonas, V. Stakėnas & M. Zych // Journal of Sustainable Forestry. 2019. Vol. 38. Iss. 8. P. 791–808. doi: 10.1080/10549811.2019.1607755

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРА РОССИИ

Б. А. Шабалин¹, А. Ю. Левых², Л. Ю. Чернявский¹, О. Н. Жигилева¹

¹ Тюменский государственный университет, *chlj@mail.ru*,

² Научный центр изучения Арктики, *aljurlev@mail.ru*

Представлены данные о видовом разнообразии сообществ мелких млекопитающих Куноватского заказника, памятника природы «Ангальский мыс», заповедника «Малая Сосьва» (Западная Сибирь) и Корякского государственного заповедника (Камчатка), как часть мониторинга биоразнообразия этих особо охраняемых природных территорий.

Ключевые слова: биоразнообразие, мелкие млекопитающие, ООПТ, мониторинг, экосистемы Севера.

Территории Севера представляют собой наибольший интерес для биоиндикации как самые экологически неустойчивые регионы. Нестабильность территорий Севера связана с глобальным изменением климата, одним из последствий которого является таяние ледников в Арктике [1]. Методы мониторинга в неустойчивых экосистемах позволяют предсказать будущие экологические изменения, с целью их профилактики или подготовки к ним. Актуальность работы обусловлена труднодоступностью территорий Севера для биоиндикационных исследований вследствие географического расположения и климатических условий. Мелкие млекопитающие являются удобным объектом мониторинга благодаря небольшим размерам и положению в экосистеме (первичные/вторичные консументы); большой численности популяций, что позволяет отлавливать их в достаточном количестве без вреда окружающей среде; также большинство видов хорошо изучены, что позволяет легко определять экологические отклонения от нормы [2].

Цель данной работы – оценить уровень видового разнообразия мелких млекопитающих ряда особо охраняемых природных территорий Севера – Западной Сибири и Камчатки, и сравнить показатели видового разнообразия мелких млекопитающих в двух регионах.

В Западной Сибири сбор материала производили на пяти территориях: 1) стационар «Стерх», Куноватский заказник, шурышкарский район Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО); 2) окрестности г. Салехарда, памятник природы «Ангальский мыс»; 3) к северо-западу от г. Надым, район Надымских сопок; 4) 50 км к юго-юго-востоку от пос. Тазовский; 5) кордон

Шухтунгорт, заповедник «Малая Сосьва». В Корякском автономном округе Камчатского края основной сбор материалы осуществляли в четырех районах исследования на территории Корякского государственного заповедника: 1) на побережье озера Таловское в 13 км от месторождения «Аметистовое»; 2) в пойме реки Тылакрыльваям (сокращённо Тылакрыльваям); 3) в пойме реки Ичигин; 4) около с. Тиличики. В пределах каждого района исследования материал собирали в нескольких биотопах.

Отлов мелких млекопитающих осуществляли с помощью ловушек Геро с приманкой, выставленных в ловушко-линии, а также применяли ловчие каналы и заборчики, в зависимости от полевых условий [3]. Для оценки разнообразия сообществ применялись индексы Шеннона-Винера, Симпсона, выровненности Пиелу и доминирования Бергера-Паркера [4, 5].

В ходе работы было исследовано видовое разнообразие мелких млекопитающих отрядов Грызуны (Rodentia) и Насекомоядные (Insectivora) Западной Сибири и Камчатки. Была определена встречаемость видов по регионам и степень их доминирования. Наиболее распространенными видами в обоих регионах являются красная полёвка *Myodes rutilus* и средняя бурозубка *Sorex caecutiens* (табл. 1).

Таблица 1

Встречаемость и степень доминирования видов мелких млекопитающих

Регион	Вид	Встречаемость		Категория вида*
		шт.	%	
Камчатка	Красная полёвка <i>Myodes rutilus</i>	65	53,7±3,2	Доминант
	Бурозубка средняя <i>Sorex caecutiens</i>	35	28,9±4,6	Субдоминант
	Красно-серая полёвка <i>Myodes rufocanus</i>	17	14,0±3,15	Второстепенный
	Пищуха северная <i>Ochotona hyperborea</i>	2	1,7±0,83	Малозначимый
	Равнозубая бурозубка <i>Sorex isodon</i>	2	1,7±0,83	Малозначимый
	Всего:	121	100,0	
ЯНАО	Красная полёвка <i>Myodes rutilus</i>	231	71,7±2,47	Абсолютный доминант
	Бурозубка средняя <i>Sorex caecutiens</i>	44	13,7±1,89	Субдоминант
	Полёвка-экономка <i>Microtus oeconomus</i>	20	6,2±1,33	Субдоминант
	Полёвка тёмная <i>Microtus agrestis</i>	9	3,0±0,95	Второстепенный
	Бурозубка обыкновенная <i>Sorex araneus</i>	9	3,0±0,95	Второстепенный
	Красно-серая полёвка <i>Myodes rufocanus</i>	3	0,8±0,49	Малозначимый
	Бурундук сибирский <i>Eutamias sibiricus</i>	2	0,5±0,39	Малозначимый
	Крот европейский <i>Talpa europaea</i>	2	0,5±0,39	Малозначимый
	Лемминг сибирский <i>Lemmus sibiricus</i>	1	0,3±0,3	Малозначимый
	Лесной лемминг <i>Myopus schisticolor</i>	1	0,3±0,3	Малозначимый
	Всего:	332	100,0	

Примечание: категории доминирования приведены по шкале Любарского [4].

В исследованных сообществах Западной Сибири присутствует абсолютный доминант красная полёвка, два субдоминанта – бурозубка средняя и полёвка эконома *Microtus oeconomus*, два второстепенных – полёвка тёмная *Microtus agrestis* и бурозубка обыкновенная *Sorex araneus*. Встречается множество малозначимых видов: красно-серая полёвка *Myodes rufocanus*, бурундук сибирский *Eutamias sibiricus*, крот европейский *Talpa europaea*, лемминг сибирский *Lemmus sibiricus*, лесной лемминг *Myopus schisticolor*.

В сообществах Камчатки нет абсолютного доминанта, самым распространенным видом является красная полёвка, после него следует субдоминант бурозубка средняя. Имеется также субдоминант красно-серая полёвка и второстепенные виды пищуха северная *Ochotona hyperborea* и бурозубка равнозубая *Sorex isodon*. В Западной Сибири наличие абсолютного доминанта вместе с доминантным видом обуславливает множество малозначимых видов (50% от общего числа видов сообщества, в то время как абсолютный доминант с доминантным видом составляют 20%), в то время как в сообщество Камчатки более выровненное в этом плане (40% малозначимых видов с 20% доминантных видов). Виды с категории абсолютного доминанта по субдоминант встречаются в обоих регионах, в то время как среди малозначимых видов практически все встречались только в одном. Так, бурундук сибирский, крот европейский, лемминг сибирский и лесной лемминг встречаются только на территории Западной Сибири, в то время как бурозубка равнозубая и пищуха северная – только на территории Камчатки.

В сообществах Камчатки индексы Шеннона-Винера и Пиелу выше, чем в сообществах Западной Сибири, а индексы Симпсона и Бергера-Паркера ниже, что говорит о большем видовом разнообразии (табл. 2).

Таблица 2

**Индексы разнообразия видов мелких млекопитающих
ЯНАО и Камчатки**

Регион: территория	Видовое богатство	Индекс Шеннона-Винера	Индекс доминирования Симпсона	Индекс Бергера-Паркера	Индекс Пиелу
Камчатка:	5	1,103	0,387	0,537	0,530
Село Тиличики и пойма реки Тылакрьлваям	2	1,091	0,346	0,615	1,574
Пойма реки Ичигинвам	4	1,066	0,387	0,529	0,769
Озеро Таловское	4	1,054	0,415	0,622	0,760
ЯНАО:	10	0,853	0,537	0,717	0,479
Поселок Тазовский	3	0,334	0,843	0,920	0,304
Надым	5	0,470	0,793	0,888	0,292
Салехард	3	0,898	0,400	0,600	0,817
Куноватский заказник	6	1,166	0,421	0,615	0,651
Заповедник «Малая Сосьва»	4	0,943	0,465	0,392	0,680

При большем уровне видового богатства Западной Сибири (10) относительно Камчатки (5), уровень биоразнообразия в Западной Сибири меньше.

Это связано с тем, что в сообществах Западной Сибири присутствуют абсолютный доминант в виде красной полёвки, в то время как в сообществах Камчатки нет видов, принадлежащих к данной категории. Это отражается в более высоких значениях индексов Симпсона и Бергера-Паркера, собственно, отражающих собой степень доминирования отдельных видов. В разных исследованных районах Камчатки показатели разнообразия сообществ мелких млекопитающих не различались между собой.

В Западной Сибири самыми высокими оказались показатели биоразнообразия сообществ млекопитающих на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) – в Куноватском заказнике и заповеднике «Малая Сосьва». Удаленность от населенных пунктов и особый статус территорий обуславливает минимизацию воздействия антропогенных факторов. Наименьшие показатели разнообразия выявлены в сообществе млекопитающих в районе пос. Тазовского и Надыма, средние показатели – в окрестностях Салехарда. Стоит отметить, что у расположенных вблизи от поселений территорий показатели биоразнообразия были ниже, чем у остальных. Также стоит отметить, что самый низкий уровень биоразнообразия сообщества поселка Тазовского относительно остальных согласуется с данными, что этот населённый пункт является опасным с точки зрения природных условий и испытывает комплексное воздействие неблагоприятных экологических факторов [6].

Таким образом, на изученных особо охраняемых природных территориях выявлено 12 видов мелких млекопитающих, в том числе 5 видов в Корякском государственном заповеднике (п-ов Камчатка), 4 – в заповеднике «Малая Сосьва», 6 – в Куноватском заказнике и 3 – на территории памятника природы «Ангальский мыс» (ЯНАО). В обоих регионах наиболее распространёнными видами мелких млекопитающих являются красная полёвка *Myodes rutilus* и средняя бурозубка *Sorex caecutiens*. Показатели видового разнообразия Шеннона-Винера мелких млекопитающих разных ООПТ варьировали в пределах 0,9–1,2; индексы доминирования Симпсона – 0,3–0,5; Бергера-Паркера – 0,4–0,9; выровненности Пиелу – 0,7–0,8. При меньшем видовом богатстве сообщества мелких млекопитающих на Камчатке обладают более высоким видовым разнообразием и выровненностью, чем в Западной Сибири. В пределах каждого региона наблюдали обратную зависимость уровня биоразнообразия от степени удаленности от поселений. Полученные данные о видовом разнообразии сообществ мелких млекопитающих могут использоваться для оценки состояния и проведения мониторинга биоразнообразия этих особо охраняемых природных территорий в условиях трансформации окружающей среды в связи с антропогенным освоением и изменением климата.

Библиографический список

1. Троянов О. М. Особенности экологических проблем и экологического мониторинга в Арктической зоне Российской Федерации. Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы // Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 27 октября 2022 года. Санкт-Петербург :

Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя РФ генерала армии Е. Н. Зиничева. 2022. С. 170–174.

2. Гашев С. Н. Динамика численности мелких млекопитающих и особенности ее прогнозирования в экологическом мониторинге // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2013. № 12. С. 140–150.

3. Левых А. Ю., Панин В. В. Видовой состав и структура сообществ мелких млекопитающих Парапольского дола (Государственный заповедник «Корякский», Камчатка) // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2019. Т. 4. № 3. С. 1–12. doi: 10.24189/nrc.2019.026

4. Шитиков В. К., Розенберг Г. С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обращения // Количественные методы экологии и гидробиологии : сб. науч. трудов, посвященный памяти А. И. Баканова. Тольятти : СамНИЦ РАН, 2005. С. 91–105.

5. Maguran A. E. Measuring biological diversity. Blackwell Science Ltd : Blackwell Publishing Company, 2004. 215 p.

6. Вохмянина О. Е., Матвеева А. А. Проблемы экологической безопасности (на примере посёлка Тазовский Тазовского района ЯНАО). Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири // Сборник тезисов VIII регион. молодёжной конф. имени В. И. Шпильмана, посвященной 90-летию со дня образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры и 60-летию открытия Шаимского нефтяного месторождения, Ханты-Мансийск, 02–03 апреля 2020 года. Ханты-Мансийск : ООО «Югорский формат». 2020. С. 90–93.

Научное издание

БИОДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

Материалы

XXI Всероссийской научно-практической конференции

с международным участием

15 ноября 2023 г.

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова

Дизайн обложки: А. А. Харунжева

Вятский государственный университет,

610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

Подписано к печати 08.12.2023. Формат 60 x 84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Усл. печ. л. 26,68. Тираж 35 экз. Заказ № 84.

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