



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

г. Киров, 1 декабря 2022 г.

Киров 2022

УДК 502.1(082)
Б632

Печатается по рекомендации Научного совета ВятГУ

Ответственный редактор:

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

Редакционная коллегия:

С. В. Дёгтева, д-р биол. наук; **С. Г. Литвинец**, доцент, 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; **Т. И. Кутявина**, с. н. с., канд. биол. наук; **С. Ю. Огородникова**, доцент, 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; **С. Г. Скугорева**, 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 XX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, г. Киров, 1 декабря 2022 г. – Киров : Вятский государственный университет, 2022. – 420 с. – ISBN 978-5-98228-258-3

В книгу вошли материалы юбилейной XX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем». Опубликованные работы посвящены изучению экологического состояния природных сред и объектов. Особое внимание уделено применению методов биоиндикации и биотестирования в оценке качества окружающей среды. Представлены материалы по экологии микроорганизмов, животных и растений и значению данных групп организмов в оценке состояния окружающей среды. Рассмотрены особенности химии и экологии почв, методы мониторинга почв.

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 НЦ УрО РАН.

УДК 502.1(082)

ISBN 978-5-98228-258-3

© Вятский государственный университет
(ВятГУ), 2022

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

<i>Дворников М. Г.</i> Экологический мониторинг природных и трансформированных объектов бассейна реки Вятка	10
<i>Курбанов А. Р., Атабаева Н. К., Титова Н. О.</i> Мониторинг экологического состояния рыбохозяйственных прудов в осенний период по показателю зообентоса (на примере прудов, принадлежащих НИИ рыбоводства Узбекистана)	15
<i>Веденеева Н. В., Пластинкин С. А., Ляпин П. А.</i> Мониторинг геоэкологических процессов береговой зоны Саратовского водохранилища	21
<i>Зиганшин И. И., Иванов Д. В., Хасанов Р. Р., Кузнецова А. В.</i> Изменение морфометрических показателей озера Ковалинское в условиях антропогенной нагрузки	25
<i>Никитин О. В., Латыпова В. З., Степанова Н. Ю., Ашихмина Т. Я.</i> Водный участок карбонового полигона «Карбон – Поволжье» в Республике Татарстан	28
<i>Ботяжова О. А., Белякова Л. А.</i> Комплексная оценка качества воды родников Ярославской области	33
<i>Пакичев А. С., Адамович Т. А.</i> Изучение состояния водных объектов микрорайона «Чистые пруды» города Кирова	37
<i>Загирова С. В., Мигловец М. Н.</i> Влияние климатических факторов на экосистемный обмен диоксида углерода в еловом насаждении средней тайги	40
<i>Клеткина М. С., Болотова А. Ю., Марамохин Э. В.</i> Парцеллярная структура лесного биогеоценоза мантуровского кластера Государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Синицына	42
<i>Канев В. А.</i> Материалы к флоре высших сосудистых растений южной части национального парка «Койгородский» (Республика Коми)	46
<i>Калинина А. В.</i> <i>Oenothera salicifolia</i> Desf. ex G. Don в условиях сорно-бытового экотопа г. Макеевки	51
<i>Сафонов А. И.</i> Морфогенетические аномалии растений в диагностике природно-техногенных систем Донбасса	54
<i>Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф.</i> Анализ состояния луговых ассоциаций поймы р. Беседь Ветковского района Гомельской области после катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции	58
<i>Маматкосимов О. Т., Мавланов Б. Ж.</i> Эколого-фитоценотическая характеристика <i>Festuca rubra</i> L. в Республике Узбекистан	62
<i>Василевич М. И., Семёнова Н. А.</i> Химический состав эпифитных лишайников на особо охраняемых территориях Республики Коми	66

Горбунов А. В., Петренко Д. Б., Дронова А. А., Окина О. И.

Оценка возможностей использования лишайников родов *Cladonia* и *Cetraria* при проведении биомониторинга воздушной среды в центральном секторе Российской Арктики.....72

Ёлкина А. В., Кантор Г. Я. Чувствительность ионоселективных электродов 77

Кутявина Т. И., Кантор Г. Я. Погружной фотоколориметр для измерения цветности и мутности воды природных водоемов в полевых условиях 79

Плотникова О. А. Применение люминесцентных методов в экологическом мониторинге.....83

Карпова К. А., Фокина А. И. Сравнение метрологических характеристик методик количественного определения глицина в лекарственных препаратах и биологически активных добавках.....86

СЕКЦИЯ 2

МЕТОДЫ БИОДИАГНОСТИКИ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Луцый Е. А., Тихомирова Е. И. Применение комплексного биотестирования при инвентаризации объектов накопленного экологического вреда на территории Республики Крым 90

Кутявина Т. И., Кондакова Л. В., Ашихмина Т. Я. Изучение фитопланктона крупнейших водохранилищ Кировской области 95

Хургул-оол Б. Ш., Ооржак А. А. Исследование холодных минеральных вод Овюрского района Республики Тыва 98

Скугорева С. Г. Очистка воды от фторид-ионов с помощью бытового фильтра 100

Сизова Е. Н., Шмакова Л. Н., Федоровская Н. С. Основные требования к биологическим маркерам сточных вод 103

Коротаева А. Э., Пашкевич М. А., Петров Д. С. Фиторемедиация водных экосистем от тяжелых металлов высшей водной растительностью 106

Малюта О. В., Ястребова А. В., Ятманова Н. М., Якупова Д. Р., Попов С. А. Биоиндикация в оценке экологического состояния Марийских священных рощ 110

Сморкалова Э. Д., Олькова А. С. Методы изучения пойменного озера Холуново (Кировская область) для оценки его значения в сохранении экологического благополучия прилегающих лесных экосистем 113

Мирзалимова С. А., Шаповалова Л. М., Кирина Е. Ю., Мухамедиев М. Г. Биодиагностика активного красителя Blue SPD.....115

Чернышенко Е. Р., Лицевич А. Р., Наумова Е. А., Ажогина Т. Н. Экотоксичность сельскохозяйственного препарата «Фаскорд», КЭ 117

Шелехов А. Д., Киреева А. Р., Фокина А. И. Исследование композиций из желатина и растительных экстрактов как основы для лекарственных пленок.....	119
Козвонин В. А., Олькова А. С., Заварин В. В., Сазанов А. В., Коледаева Е. В. Возможности молекулярно-генетических методов в оценке потенциального токсического действия веществ.....	123
Никитин О. В., Насырова Э. И., Перевозчикова Е. В., Андреев П. А., Гизатуллин Д. Ю., Латыпова В. З. Оценка двигательной активности гидробионтов при помощи компьютерного зрения	127

СЕКЦИЯ 3 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

Лаптева Е. М., Шахтарова О. В., Холопов Ю. В., Денева С. В. Оценка запасов органического углерода в почвах низкогорных ландшафтов Приполярного Урала	132
Шумилова М. А. Кинетические закономерности сорбции ионов никеля почвами Удмуртии	135
Аристархова Е. В., Горбунов А. В., Ермолаев Б. В., Петренко Д. Б. Оценка концентраций некоторых тяжелых металлов в почвах в зоне воздействия предприятия по производству минеральных удобрений.....	139
Ручкина К. В., Мерзляков О. Э. Загрязнение почв микропластиком. Морфологическое определение его свойств микроскопическим методом	143
Рачкова Н. Г., Шапошникова Л. М. Оценка перспектив механической и реагентной дезактивации загрязненных радием-226 таежных почв.....	148
Рудых А. С., Богданов А. В. Воздействие установки для переработки замазученных грунтов на окружающую среду.....	153
Скребенков Е. А., Кряжева Е. Ю., Лаптева Е. М. Оценка содержания никеля и свинца в почвах города Ухта.....	157
Федосеев А. Н., Макарова А. С. Разработка технических решений биоремедиации территории городского округа г. Усолье-Сибирское Иркутской области	160
Дабах Е. В. О проблеме вовлечения заброшенных земель сельскохозяйственного назначения в оборот	164
Смотрина Ю. А., Лаптева Е. М., Захожий И. Г., Далькэ И. В. Влияние <i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden. на активность дыхания и микробную биомассу постагрогенных почв (средняя тайга Республики Коми).....	168
Прокашев А. М., Пупышева С. А., Матушкин А. С., Чепурнов Р. Р. Опыт оценки аттрактивности приречных геосистем охраняемых и рекреационных территорий	173

СЕКЦИЯ 4

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Кувичкина Т. Н., Капаруллина Е. Н., Доронина Н. В., Решетилов А. Н. Влияние ряда внешних факторов на иммобилизованные актинобактерии <i>Rhodococcus qingshengii</i> GL Mm1	179
Домрачева Л. И., Трефилова Л. В., Ковина А. Л., Зыкова Ю. Н. Особенности эпифитной микробиоты семян люпина	182
Степанов П. Д., Зыкова Ю. Н., Домрачева Л. И., Стариков П. А., Ковина А. Л., Трефилова Л. В. Эффективность предпосевной инокуляции семян при возделывании <i>Trifolium rapponicum</i>	185
Стариков П. А., Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Домрачева Л. И., Трефилова Л. В. Влияние микробной инокуляции семян на развитие грибных болезней яровой пшеницы	189
Широких И. Г., Огородникова С. Ю., Назарова Я. И., Шуплецова О. Н. Биотехнологический подход в решении проблемы засоления почв	194
Широких И. Г., Завьялова Н. Е., Боков Н. А., Ашихмина Т. Я. Антибиотикорезистентность актинобактерий в связи с практикой удобрения почвы куриным пометом	199
Боков Н. А., Широких И. Г. Оценка фиторегуляторной активности стрептомицетов-целлюлозолитиков	203
Кондакова Л. В., Дабах Е. В. Особенности формирования альгоцианофлоры на техногенной территории	207
Пилип Л. В., Козвонин В. А., Колеватых Е. П., Сырчина Н. В. Выявление микробных ассоциаций в отходах свиноводческих комплексов	213
Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Кузнецов Д. А., Колеватых Е. П., Козвонин В. А. Влияние различных препаратов на численность бактерий рода <i>Clostridium</i> в свиных навозных стоках	217
Никифоров Н. А., Широких А. А. О миксомицетах памятника природы регионального значения «Низевский таежно-болотный комплекс»	222
Широких А. А. Генетические особенности и биологический потенциал щелелистника обыкновенного	225
Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф., Концевая И. И. Изменения биогенности почв в посевах ячменя под влиянием биопрепаратов	227
Пархоменко А. Н., Бекиева Х. Х. Биоиндикация городских почв с использованием азотфиксирующих микроорганизмов	231
Гальперина А. Р. Тяжелые металлы и пигментная система цианобактерий	234

Пуликова Е. П., Горовцов А. В., Невидомская Д. Г., Казарян К. А., Минкина Т. М. Влияние хелатирующих агентов на процессы денитрификации в почвах степных ландшафтов районов угледобычи восточного Донбасса	238
Миндубаев А. З., Акосах Й. А., Бадеева Е. К. Рост <i>Aspergillus niger</i> AM1 в культуральной среде с двумя токсикантами	243

СЕКЦИЯ 5

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Белова К. Д. Особенности анатомического строения стебля <i>Cenolophium denudatum</i> (Hornem.) Tutin. в связи с местообитанием	247
Абдураимов О. С., Махмудов А. В., Эрдонов Ш. Б., Алламуратов А. Л., Маматкосимов О. Т. Семенная продуктивность <i>Cuminum cyminum</i> L. в разных экологических условиях Узбекистана	250
Архипова Н. С., Измайлова А. Г. Вариабельность морфологических параметров ятрышника пятнистого (<i>Orchis maculata</i> L.)	254
Овчинникова Ю. А., Савиных Н. П. О компактных клонах ириса сибирского (<i>Iris sibirica</i> L.)	258
Белова К. Д. О географическом распространении и экологических предпочтениях <i>Cenolophium denudatum</i> (Hornem.) Tutin.	263
Рутман В. В., Кантор Г. Я. Изучение распространения борщевика Сосновского по космическим снимкам высокого разрешения	267
Марамохин Э. В., Ершов А. А., Корзникова В. Г. Межвидовые отношения в фитоценозах на примере аменсализма на территории Мантуровского кластера государственного природного заповедника «Кологривский лес»	271
Урекин Е. А., Сотникова В. А., Чихалева П. А., Марамохин Э. В. Некоторые эколого-ценотические характеристики прибрежно-водных фитоценозов Мантуровского кластера государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына	274
Рябов В. М., Черникова Т. Ю., Рябова Е. В. Материалы к флоре и растительности заповедника «Васюганский»	277
Коновалова И. А., Лелекова Е. В. Еловые сообщества государственного природного заказника «Бушковский лес» (Кировская область)	280
Гоголева А. П., Пересторонина О. Н. Типы и особенности еловых лесов памятника природы «Медведский бор» (Кировская область)	285
Овечкина А. Д., Пересторонина О. Н. Типы и особенности сосновых лесов памятника природы «Белаевский бор» (Кировская область)	289
Гремитских Я. Д., Шабалкина С. В. Структура и состояние растительных сообществ дендропарка лесоводов Кировской области	293

Коновалова И. А., Скоробогатая М. Н., Лелекова Е. В., Душина Е. Э. Состояние культур <i>Pinus sylvestris</i> L. на особо охраняемой природной территории «Медведский бор»	299
Тетерин А. А., Савиных Н. П. Состояние насаждений лиственницы сибирской на северо-востоке подзоны южной тайги в Кировской области ..	302
Марамохин Э. В., Деятилова А. В., Игнатова В. В. Изучение лесных биогеоценозов с антропогенной нагрузкой в окрестностях г. Костромы	308
Зяблицева Я. И., Головьев М. Д., Адамович Т. А. Использование физико-химических методов анализа для исследования фитохимических компонентов экстракта винограда	312
Лучинин Г. А., Исупова М. В., Товстик Е. В. Фитохимический состав плодов шиповника	316
Болдырев Д. В., Галкина Т. Д., Ханжина Е. Г., Огородникова С. Ю. Ягоды жимолости как источник биологически активных веществ	319
Гребенев И. Р., Исупова М. В., Лучинин Е. А. Сравнительная оценка химического состава плодов и листьев аронии черноплодной	324
Тарасова В. Л., Хохрякова Л. В., Адамович Т. А. Влияние экологической обстановки на содержание дубильных веществ в хвое и коре пихты сибирской (<i>Abies sibirica</i> Ledeb.).....	327
Кислицына Е. А., Фокина А. И. Влияние условий выращивания на содержание биологически активных веществ в мелиссе лекарственной	329
Турчанинова А. В. Гистоструктурные ризологические реакции фитоиндикаторов на загрязнение почв Донбасса тяжелыми металлами	332
Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Белоколосость на сортах озимой ржи	336
Емелев С. А., Лыбенко Е. С. Люпин узколистный как сидеральная и кормовая культура в условиях Кировской области	341
Кислицына А. П., Попов Ф. А., Бобчихин О. В. Опыт возделывания расторопши пятнистой в Кировской области	346
Черемисинов М. В. Влияние протравителей семян на ростовые процессы и урожайность ярового ячменя сорта Изумруд.....	350
Черемисинов М. В. Изучение возможности совместного применения химических протравителей семян с биопрепаратом против корневых гнилей на ячмене	353
Емелев С. А. Влияние биопрепаратов на развитие растений ярового ячменя Родник Прикамья	356

СЕКЦИЯ 6 ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Арасланова А. В., Конопельцев И. Г. Экологически безопасный способ профилактики воспаления молочной железы коров.....	362
Ахметова Д. И., Ухова Н. Л., Алексанов В. В., Воробьева И. Г., Ананина Т. Л., Теофилова Т. М., Суходольская Р. А. Изменчивость размеров жужелицы <i>Pterostichus oblongopunctatus</i> Fabricius (Coleoptera, Carabidae) в географических градиентах	365
Бедова П. В. Современное состояние памятника природы Республики Марий Эл «Озеро Гусинец».....	367
Гордиенко Т. А., Вавилов Д. Н., Суходольская Р. А. Паттерны сезонной динамики численности почвенной мезофауны луговых фитоценозов Волжско-Камского заповедника	371
Кочурова Т. И. Пиявки (Hirudinea) в зообентосе р. Кукарки (Советский район, Кировская область) в условиях сброса хозяйственно-бытовых сточных вод	375
Куватов А. К., Атамуратова М. Ш., Мирзаев У. Т. Морфологическая характеристика <i>Paracobitis longicauda</i> (Cypriniformes: Cobitidae) в реке Шерабад и ее притоках	380
Мальцева А. К., Мальцева Е. К., Лунандина Н. С. Негативное воздействие производства продукции животноводства на окружающую среду	385
Масленникова О. В. Росомаха в Кировской области.....	389
Масленникова В. В., Масленникова О. В. Трансформация поведения волков в Кировской области.....	393
Мустакимова Д. И., Хасанова Р. Ф. Тяжелые металлы в организме рыб реки Урал.....	396
Родина Е. И., Урекин Е. А., Соколова Т. Л. Макрозообентос в оценке экологического состояния озера Святое Костромского района Костромской области	399
Рябов В. М. Материалы к ихтиофоне памятника природы регионального значения «Озеро Большой Уват» в Вагайском районе Тюменской области	404
Селиванова Н. П. Фауна и население птиц бассейна реки Войвож-Сыня (Приполярный Урал) в послегнездовый период	407
Урекин Е. А., Замураев Д. Р., Колесова Т. М. Перифитон малых рек Мантуровского кластера Государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына.....	410
Щеголева Н. Ю., Марамохин Э. В. Орнитологические консорции лесных биогеоценозов Мантуровского кластера Государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына	415

СЕКЦИЯ 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНЫХ И ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ БАССЕЙНА РЕКИ ВЯТКА

М. Г. Дворников

*Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, Dvornikov50@mail.ru*

В соответствии со структурой зональных природно-антропогенных объектов участие в них взаимодействующих компонентов в вещественно-энергетических процессах прослеживалось в течение 30 лет стационарно с начальных единиц – биогеоценозов. Выявлены биологические показатели оценки качества среды и ресурсов в конкретных природных комплексах региона.

Ключевые слова: экологический мониторинг, природные объекты, качество состояния окружающей среды.

Вещественно-энергетический процесс функционально объединяет компоненты и характеризует единую систему, а целостность её обеспечивается сообществами видов, сформировавшихся в процессе эволюции. В данном случае комплексное изучение состава биогеоценозов (БГЦ), первичной продуктивности, фито- и зоомассы, продукции основных (доминирующих) групп растений и животных, взаимодействия консументов и энергетики разных трофических уровней, содержания при поступлении в систему и распределения химических элементов, в первую очередь биогенных в организмах, подстилке, почве, соотношения и скорости редукции отмершей органики в целостных природных единствах, является актуальным направлением фундаментальной экологии. Практические проекты сохранения биоразнообразия, экологический мониторинг и использования биоресурсов также могут быть успешно решены на основе системного управления ими, в том числе и в прогнозах с задействованием цифровых технологий.

Сравнительные стационарные биогеоценологические исследования по известным программам: «Летопись природы в заповедниках СССР» и «Программа и методика биогеоценологических исследований» проводились в 1989–2022 гг. в таёжных БГЦ на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) и задействованными хозяйственной деятельностью человека участ-

ками. Объектами исследований были лесные и луговые БГЦ, где произрастали и обитали фоновые виды растений и животных. Таксационные описания стационаров, объектов, таксонов и исторические сведения по структурно-функциональной организации БГЦ, использованию биоресурсов приводятся в монографиях [1, 2]. Энергосодержание, химические анализы проб осадков, растений, животных, подстилки, почвы и литосферных фрагментов (для расчётов кларков), взятых из БГЦ и естественных экологических систем (ЕЭС), (здесь и далее термины по ст. 1 Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ), проводились в аттестованных лабораториях методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, радионуклиды – на комплексе «Прогресс». При сборе и обобщении материалов использованы известные с 1955 г. методологические основы экологического мониторинга сотрудников лабораторий геохимии, радиобиологии и биогеоценологии Ильменского государственного заповедника УНЦ АН СССР.

В 1989 г. была составлена схема структурно-функциональной организации комплексного БГЦ объединённого вектором стока (от водораздела к руслу реки Вятка и озёрам) и обозначены блоки и этапы изучения на стационарах экологического профиля (на входе, транзите, накоплении и в ореолах) и выявлен состав и структура конкретного БГЦ. Особенности накопления фитомассы, углеродного баланса, зоомассы и перемещения химических веществ в БГЦ смежно расположенных в одном природном комплексе (ПК) с освоенными и охраняемыми природно-антропогенными объектами (ПАК) (табл. 1) на примере растительных и хищных животных прослеживались в таёжной «Провинции Вятско-Камской возвышенности». В данном случае благоприятная среда, устойчивое функционирование БГЦ зависели от антропогенной нагрузки и сбалансированных взаимосвязей растительности, травоядных животных и хищников. Передвижение и концентрации животных (их корм метили) были связаны с режимом охраны и сезонными запасами и качеством кормов. Содержание химических элементов в блоках БГЦ (табл. 2–3) (с учётом периодов разложения опада и отпада) рассчитаны на особь, популяцию (условно) и ЕЭС. Заметим, что биоэкологические и феногенетические исследования популяций и связей в ПК региона скромны. В процессе изучения биогенной миграции химических элементов по цепи питания мы использовали известные коэффициенты: накопления (КН) и пропорциональности (КПР). Отмечено, что скорость и ёмкость биогеохимического круговорота в БГЦ проходят в соответствии с лесорастительными условиями, а качество среды, в нашем случае, характеризуется уже и биологическими показателями.

В вегетационный период в форме фотосинтетически активной радиации в тайге бассейна р. Вятка поступает 176–197 кДж/см² в год, на средней части долины реки – 188,4 кДж/см² в год, от нее используется растениями 1%, в итоге продуктивность растительного покрова на охраняемых природных объектах равна 75–80 ц/га в год. Близкие показатели (с помощью опадоуловителей) по приросту получены для осинников с участием ели, сосны и дуба (71,5 ц/га). Сосновые леса охранной зоны ГПЗ «Нургуш» и ООПТ «Зелёная

зона» трансформированы рубками и фактически показатели прироста, и запасы углерода у них значительно ниже потенциальных. При использовании в расчетах характеристик малонарушенных лесов, величина чистой продуктивности составляла 144,7 млн кДж/га в год. На освоенных территориях, по сравнению с ООПТ, участие животных в биогеоценотических процессах меньше, так как здесь меньше и общие запасы фитомассы и зоомассы, кроме того и общий энергопоток. Заметны здесь проявления и синантропных видов растений и животных.

В итоге рассмотрены характеристики малонарушенных и освоенных ЕЭС и, в частности, биогеоценотическая роль популяций видов растений и животных и их участие в обеспечении устойчивого состояния ПК. В соответствии с Федеральным законом от 14.03.1995 № 33-ФЗ ведение экологического мониторинга является одной из основных задач возложенных на заповедники (природные эталоны), однако загрязняющие химические вещества уже заметны и в ООПТ. Для выявления изменений в ПК эдификаторы и доминанты обоснованно являются видами индикаторами их состояния, что необходимо развивать и учитывать при обосновании допустимых воздействий. В данном случае сравнительный подход и результаты исследований приложимы при построении модели прогнозов, экологической безопасности и для схем-проектов природопользования и антропогенных объектов (заводов, экологической экспертизы – презумпции потенциальной экологической опасности, и т. д.).

Таблица 1

**Содержание химических элементов в компонентах
природно-антропогенных объектов**

Наименование	Содержание, мг/кг							Cs	Sr
	Hg	Cd	As	Pb	Mn	Cu	Zn	Бк/кг	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Снег на водоразделе	0,001	0,0005	менее 0,1	0,001	0,005	0,005	0,114	менее 1,0	менее 3,0
Старовозрастные ельники черничниковые на пологом склоне									
Подстилка 0–5 см, Ао		0,029	+	+	177,5	13,5	27,49	11,6	24,2
Подстилка 5–13 см		0,025	–	5,88	106,5	10,0	23,99	–	–
Почва 13–30 см (дерн.-подзолистая, рН 3,9)		0,015	–	4,31	85,39	4,49	20,97	–	–
Старовозрастные сосняки черничниковые с участками брусничников и болот									
Травостой, кустарнички	0,013	0,1	–	4,2	250,3	4,7	39,9	92	35
Мелкие ветви, хвоя, листья	0,013	0,04	–	0,55	63,0	3,8	53,3	32	65
Подстилка 0–5 см	0,022	0,08	+	2,1	320,3	6,2	27,1	62	127
Подстилка 5–13 см	0,044	0,24	+	0,6	536,4	8,3	45,5	–	–

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Почва 13–30 см (дерн.-подзолистая, рН 3,9)	0,88	0,3	–	17,1	538,1	12,4	34,1	–	–
Старовозрастные пойменные елово-широколиственные высокотравные леса									
Травостой	0,016	+	+	0,55	х	х	х	х	х
Мелкие ветви, хвоя, листья	0,27	0,1	+	0,49	124,7	5,9	60,2	23	61
Подстилка 0–3 см	0,22	0,08	+	0,1	152,1	7,4	65,1	19,35	22,6
Подстилка 3–7 см	0,055	0,57	0,05	4,5	612,4	11,1	59,5	52,91	62,72
Почва 7–30 см (дерн.-аллювиал., рН 4,8)	0,06	0,37	0,1	12,3	594,2	11,7	42,8	–	–
Разнотравно-злаковые луга зрелой поймы									
Травостой	0,008	0,02	+	0,6	224,7	5,7	19,0	32	66
Ветошь и опад, 0–3 см	0,014	0,022	0,1	4,9	315,1	6,8	27,1	29,75	46,1
Весенние наносы (кучи) опада	0,2	0,51	+	10,1	925,0	14,9	56,9	95	102
Подстилка, 3–5 см	0,025	0,22	0,15	4,3	536,3	8,3	45,5	26,3	32,9
Почва 5–30 см (дерн.-аллювиал., рН 4,7)	0,03	0,24	0,05	6,1	539,1	12,4	33,9	27,6	37,9
Берег р. Вятка									
Галька, песок (кларк)		0,019	х	3,35	142,8	7,02	26,57	х	х

Примечание: + – слабое присутствие; – не обнаружено; х – древнего присутствия нет.

Таблица 2

**Химический состав кормовых объектов животных
в природном комплексе**

Наименование	N	P	K	Ca	Cu	Zn	Pb	Cd	Mn	Hg
	массовая доля, % (абс. сух.)				содержание, мг/кг					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Грибы: белый	4,51	0,38	2,74	0,01	18,2	123,4	0,8	1,16	11,6	0,073
зеленушка	3,4	0,64	4	0,02	17,2	37,6	0,8	0,37	8,4	
подберёзовик	4,08	0,47	2,68	0,02	32,8	187,1	1,3	0,57	7,5	0,119
лисичка	2,68	0,45	4,03	0,02	18,1	74,8	0,9	0,02	14,4	0,058
Ягоды: калины	1,18	0,17	0,68	0,32	4,7	9,6	1,0	0,01	10,2	0,023
черёмухи	1,12	0,21	0,66	0,22	6,4	10,5	0,9	<0,01	14,7	0,009
рябины	0,93	0,22	1,44	0,33	2,9	10,1	0,3	0,03	67,5	0,012
шиповника	0,85	0,21	1,02	0,56	3,6	10,4	0,4	0,03	18	0,02
брусники	0,3	0,14	0,66	0,14	3,2	6,7	0,5	<0,01	7,5	0,007
клюквы	0,4	0,15	0,8	0,15	19,3	35,9	1,0	0,02	10	
Плоды дуба	1,14	0,12	0,96	0,15	4,4	10,2	0,3	0,03	17	0,008

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Побеги: черники	1,16	0,11	0,34	0,54	6,3	23,5	0,4	0,02	140,8	–
брусники	0,93	0,07	0,3	0,51	5,2	44	0,8	0,06	10,7	0,016
Хвоя: сосны	1,62	0,18	0,51	0,51	4,3	29,3	0,8	0,06	69,5	–
пихты	1,74	0,24	0,65	0,96	4,1	58,4	0,9	0,06	78,3	–
Кора: пихты	0,52	0,08	0,24	1,5	3,2	94,9	0,2	0,12	112,5	0,029
осины	0,52	0,08	0,46	2,26	0,19	111,1	0,2	0,08	167,4	0,015
ольхи	1,33	0,09	0,29	0,78	4,3	26,3	0,3	0,04	120,1	0,012
Ветви: ели	1,57	0,22	0,74	0,92	3,8	42,7	0,3	0,05	77,1	–
крушины	1,19	0,1	0,41	1,01	5,1	38,2	0,2	0,24	25,5	
ольхи	1,44	0,12	0,22	0,71	6,9	39,6	0,6	0,1	71	0,009
липы	1,25	0,17	0,37	3,13	5,8	60,1	0,5	0,12	279,5	0,02
осины	1,18	0,16	0,37	1,52	7,3	67,2	0,2	0,26	85,3	–
берёзы	1,12	0,12	0,19	0,71	3,3	76,4	0,3	0,02	48,3	0,008
дуба	1,02	0,11	0,32	1,47	5,8	28	0,3	0,04	303,4	0,033
ивы	1,36	0,2	0,56	0,46	7,3	106,6	0,6	0,16	50,8	
рябины	0,92	0,15	0,33	0,76	4,1	40,3	0,3	0,08	87,1	0,012
Травостой: луг	1,74	0,16	1,3	0,82	5,7	19	0,6	0,02	224,7	0,008
лес	2,07	0,29	2,64	0,38	7,9	39,9	4,2	0,1	250,3	–
Хвощ речной	2,94	0,67	1,24	1,87	5,21	27,13	0,8	0,04	861,0	–
Ряски	3,46	0,92	3,45	1,94	5,2	21,7	0,7	0,09	380,3	
Стрелолист обыкновенный	3,04	0,52	3,89	1,11	6,17	38,2	0,28	0,03	481,3	
Рогозы	2,87	0,41	6,11	0,88	3,46	52,19	0,38	0,04	306,1	

Таблица 3

**Содержание химических элементов в животных
в природном комплексе**

Вид	N	P	K	Ca	Cu	Zn	Pb	Cd	Mn	Hg	As	Sr	Cs
	массовая доля, %				содержание, мг/кг							Бк/кг	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Лось	3,67	13	0,06	27,8	0,8	62,8	0,4	0,02	77,9			36	18
Бобр	3,67	13,4	0,06	28,9	0,8	57,7	0,2	0,02	108,8				
Ондатра	3,94	16,3	0,13	29,3	1	66,4	0,5	0,02	82			64	44
Белка	5,16	11,7	0,16	23,8	2,5	134,6	0,8	0,01	104,2				
Кабан	4,5	12,1	0,02	25,6	1	60,4	0,2	0,02	159,5			49	25
Рыжая по- лётка					10,1	142	3,2	0,23	7,5			78	140
Лесная мышь					4,6	131	2,8	0,09	12,4			67	58
Волк	3,95	12,9	0,08	26,2	1,1	62,4	0,7	0,02	84,7	0,02		59	37
Медведь					1	23,6	0,5	0,02	0,8	0,02		96	49
Лисица	4,2	13,7	0,06	29,8	0,9	81	0,2	0,02	114,9			49	52
Енотовидная собака					2,6	144,9	111,1	0,04	1,4			64	44
Куница					4,2	163,6	2,4	0,04	3,7			52	58
Крот					9,6	242,5	9,2	0,11	3,9	0,6	0,9– 1,2	50	28
Кряква	5,36	11,3	0,28	23	1,1	129,4	1,5	0,02	96,3			60	25
Гусь гумен- ник	5,07	3,56	0,16	9,33	1,3	42,8	0,7	0,04	1,2			64	23

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Глухарь	5,59	11,3	0,18	22,7	1,2	137,7	0,5	0,01	78,6			60	20
Чёрный коршун					0,8	74,2	1,7	0,03	131,5				
Сизая чайка					0,7	77,3	0,45	0,02	141,3				
Остромордая лягушка					10,2	74,1	0,03	0,04				88	17
Уж					9,4	103,1	0,037	нет				54	26
Лещ	4,63	11	0,26	21,5	1,4	59,3	0,3	0,06	139,4				
Линь	4,75	10,9	0,17	21,3	0,9	51,1	0,4	0,01	119				
Плотва	4,61	11,2	0,18	22,4	1,2	50,9	0,35	0,02	122,4				

Библиографический список

1. Дворников М. Г. Млекопитающие в экосистемах бассейна реки Вятка (на примере особо охраняемых и освоенных территорий). Киров : Кировская областная типография, 2007. 352 с.

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 : Изд-во «ВЕСИ», 2021. 291 с.

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРУДОВ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД ПО ПОКАЗАТЕЛЮ ЗООБЕНТОСА (НА ПРИМЕРЕ ПРУДОВ, ПРИНАДЛЕЖАЩИХ НИИ РЫБОВОДСТВА УЗБЕКИСТАНА)

А. Р. Курбанов¹, Н. К. Атабаева², Н. О. Титова¹

¹ Научно-исследовательский институт рыбоводства,
Республика Узбекистан, kurbanov19859@mail.ru, narcissus14.07.1990@mail.ru

² Национальный университет Узбекистана имени Мирзо-Улугбека,
Республика Узбекистан, atabaeva_nargis@inbox.ru

В статье приведены результаты исследований зообентоса в рыбохозяйственных прудах НИИ рыбоводства Республики Узбекистан. В пробах, отобранных в ноябре 2021 г., обнаружен 31 вид организмов зообентоса: поденки – 1 вид, ручейники – 1 вид, малощетинковые черви – 8 видов, ракообразные – 1 вид, моллюски – 6 видов, двукрылые из семейства Chironomidae – 14 видов. Дана характеристика экологического состояния рыбохозяйственных прудов.

Ключевые слова: биоиндикация, гидробиологический анализ, зообентос, сапробность, трофность, экологическое состояние.

Зообентос (от bentos – глубина) – это совокупность беспозвоночных животных (размер тела свыше 2 мм), населяющих дно (бенталь), водную растительность (фиталь), а также другие субстраты, в том числе различные гидротехнические сооружения.

Население зообентоса представляют черви (планарии, олигохеты, нематоды), пиявки, моллюски (брюхоногие, двустворчатые), ракообразные (амфиподы, изоподы, декаподы и др.), паукообразные, насекомые (двукрылые, полужуки, веснянки, ручейники, стрекозы и др.) и т. п. В функциональном отношении зообентос является важной частью гетеротрофного компонента экосистем и, представляющие его животные организмы, относятся к консументам [1–3].

Видовой состав и количественное развитие организмов бентали надежно характеризуют степень загрязнения грунта и придонного слоя воды. Население фитали более характеризует качество водной массы в водном объекте.

Состав зообентосных сообществ относительно постоянен, пока они находятся в условиях, в которых они сформированы. В достаточно чистых водах донные сообщества в хорошо аэрируемых участках характеризуются высоким видовым разнообразием, что свидетельствует о нормальном состоянии водной экосистемы. В загрязненных водах выпадают группы животных, наиболее чувствительных к отдельным загрязняющим веществам. Происходит изменение/нарушение видовой и трофической структуры зообентоса, иногда катастрофическое, приводящее к деградации исходных донных биоценозов.

Преимущества зообентоса при индикации загрязнений, по сравнению с планктонными сообществами определяются приуроченностью к определенным субстратам, по сравнению с макрофитами (макрофитобентосом) – большей лабильностью и реакцией на загрязнение, по сравнению с микроорганизмами – относительной устойчивостью к паводковому сносу и повышенной мутности воды, по сравнению с альгоценозами – большей чувствительностью к воздействию токсического и теплового загрязнения [4, 5].

Для изучения донных биоценозов необходимо прежде всего определить основные биотопы водного объекта, т. е. основные места обитания донных животных.

Согласно В. И. Жадину [1] зообентос включает пять биоценозов: 1) литореофильный – биоценоз каменистого грунта; 2) псаммореофильный – биоценоз песчаного дна; 3) оргиллореофильный – биоценоз глинистых донных отложений; 4) пелореофильный – биоценоз заиленного дна; 5) фитофильный – биоценоз водных макрофитов.

Для целей гидробиологического мониторинга наиболее удобным и универсальным орудием лова в водотоках региона является скребок, представляющий собой надетую на палку металлическую рамку типа сачка, но с плоской режущей кромкой, с помощью которой можно соскребать верхний слой грунта. К рамке пришивается мешкообразное сито из плотной бязи и мельничного газа № 23, для чего в рамке равномерно просверлены небольшие отверстия [3].

Применение скребка позволяет отбирать в неглубоких прибрежных участках водных объектов как качественные, так и количественные пробы со всех видов субстратов, включая такие специфические, как погруженные обросшие борта паромов, стенки гидротехнических сооружений, сваи мостов

и др. Техника отбора проб с помощью скребка имеет ряд особенностей. Работу необходимо выполнять в высоких (болотных) сапогах [2, 3].

Для сбора количественных проб с мягких грунтов, а также с обросших твердых поверхностей, достаточно измерить площадь облова, равную произведению расстояния, пройденного скребком, на ширину его режущей кромки. Например, при ширине режущей кромки 16 см и при прохождении скребком по поверхности грунта полосы в 50 см, площадь отлова составит 800 см^2 [3].

Разборку пробы желательно производить сразу же после отбора на берегу водоема, поскольку выборка из грунта живых организмов происходит в среднем в 2–3 раза быстрее, чем фиксированных. Благодаря активным движениям, даже такие мелкие объекты, как черви, личинки мокрецов, ранние возрастные стадии насекомых, хорошо видны в белой кювете невооруженным глазом. При этом содержимое банки маленькими порциями переносится в белую эмалированную кювету или обыкновенную белую тарелку, заливается небольшим слоем воды, равномерно размешивается (распределяется) по кювете и затем, из этой и каждой последующей порции выбираются еще живые организмы с помощью пинцета с тонкими заостренными концами.

Сразу после доставки в лабораторию пробу переносят в банку или небольшой кристаллизатор с водой, туда же помещают кусок льда из термоса и приступают к разборке организмов зообентоса в белой кювете, как это описано для процедуры разборки живых проб на берегу у водоема.

Лед необходим, чтобы мелкие оксифильные виды не погибли от нехватки кислорода уже в момент разборки пробы, что затруднило бы их выборку и привело к потере гидробиологического материала.

При невозможности немедленной разборки пробы или быстрой доставки в живом состоянии в лабораторию, отмытую от грунта пробу, вместе с этикеткой помещают в стеклянную или полиэтиленовую банку с крышкой и фиксируют в 75–80%-ном спирте или в 4%-ном формалине, нейтрализованном насыщенным раствором соды (NaHCO_3).

Доставленную в лабораторию фиксированную пробу, отмывают от фиксатора в небольшом сачке из мельничного газа № 23 (можно использовать скребок) обычной водопроводной водой и затем производят выборку организмов под бинокуляром, поскольку мелкие неподвижные, частично обесцвеченные организмы, плохо заметны невооруженным глазом.

Отмытую пробу небольшими порциями просматривают в чашке Петри при 8-кратном увеличении бинокуляра. Организмы выбирают пинцетом и помещают в пробирку или пенициллиновую склянку с 4%-ным раствором формалина. Аналогично фиксируют организмы, выбранные из живой пробы.

Идентификацию видов организмов зообентоса осуществляли по определителям. При определении качества воды за основу взяли модифицированный в лаборатории биотический индекс Вудивиса [2, 3, 6]. Определение частоты встречаемости и балла обилия видов в пробах бентоса проводили по методу Г. П. Булгакова (табл. 1) [4].

Таблица 1

Пересчет численности организмов бентосных проб, отобранных скребком, на 1 м² (по методу Г. П. Булгакова) [4]

Балл обилия	Частота встречаемости	Экз./м ²
1	единично	до 6
2	очень редко	7–13
3	редко	14–63
5	нередко	64–125
7	часто	126–250
9	очень часто	свыше 250

В ноябре 2021 г. было проведено плановое обследование прудов, принадлежащих НИИ рыбоводства в Янгиюльском районе Ташкентской области. Было отобраны 6 проб зообентоса на вышеуказанных прудах.

Для зообентоса рыбохозяйственных прудов НИИ рыбоводства характерен комплекс пресноводных и солоноватоводных видов организмов. Основу составляют истинно донная фауна, представленная в основном личинками хирономид и фитофильная фауна, в зарослях высшей водной растительности, представленная олигохетами, моллюсками, хирономидами, характерными для умеренно загрязненных и эфтрофированных вод [7].

Зообентос рыбохозяйственных прудов НИИ рыбоводства в видовом отношении осенью 2021 г. был разнообразнее по сравнению с весенним периодом (май). Донные отложения на вышеуказанных точках отбора проб представлены, в основном, темно-серым, почти черным илом, мелкозернистым песком и галькой и вкраплениями глины. Основу бентофауны составляют моллюски, в основном, *Physa Fontinalis*, двукрылые, в основном, хирономиды: несколько представителей рода *Chironomus*, а также рода *Cricotopus*, а также олигохеты: *Nais elinguis*, *Paranais litoralis* и представители сем. Tubificidae.

Более подробная информация о видовом составе зообентоса рыбохозяйственных прудов при НИИ рыбоводства Узбекистана представлена в таблице 2.

Таблица 2

Видовой состав организмов зообентоса рыбноводных прудов при НИИ рыбоводства Узбекистана в осенний период 2021 года

Таксоны	S	Балл обилия вида					
		7-отсек	ВП-7	5-отсек	ВП-9	ВП-8	Канал
1	2	3	4	5	6	7	8
Ephemeroptera							
<i>Caenis macrura</i> Stephens	α			3			
Trichoptera							
<i>Hydropsyche gracilis</i>	α			2			
Diptera							
<i>Simuliidae</i> gen.sp.	β	3					
Chironomidae							
<i>Limnophyes</i> sp.	-		3				

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Tanytarsus</i> gr. <i>gregarius</i>	β-α					5	
<i>Rheotanytarsus</i> sp.	β-α				9		
<i>Eukiefferiella alpestris</i>	β-α	3					
<i>Cricotopus silvestris</i>	α	5					
<i>Cricotopus</i> gr. <i>bicinctus</i>	α		5	3		9	
<i>Cricotopus trifasciatus</i>	α				9	9	5
<i>Polypedilum convictum</i>	α				9**	5	
<i>Polypedilum scalaenum</i>	α					2	
<i>Endochironomus defectus</i>	α-ρ				9**		
<i>Einfeldia</i> gr. <i>carbonaria</i>	α-ρ						3
<i>Chironomus plumosus</i>	ρ		5	5	9**		3
<i>Chironomus tummy</i>	ρ	5				5	
<i>Chironomus behningi</i>	ρ					9**	
<i>Thienemanniella</i> sp.A	-		3				
Crustacea (Decapoda)							
<i>Macrobrachium nipponense</i>	α			3			
Mollusca							
<i>Anisus</i> sp.	α						3
<i>Physa oculta</i>	β-α						*
<i>Lymnaea</i> sp.	α					*	*
<i>Unio pictorum</i>	α-ρ			*			
<i>Physa fontinalis</i>	α-ρ	3				*	3
Oligochaeta							
<i>Eiseniella tetraedra</i>	β						3
<i>Paranais litoralis</i>	β-α				7		
<i>Nais communis</i>	β-α		3	3			
<i>Nais elinguis</i>	β-α		9	3	3		
<i>Nais simplex</i>	β-α		9				
<i>Nais pseudoptusa</i>	β-α		7				
<i>Tubifex tubifex</i>	ρ	5				5	3
Nematoda							
<i>Nematoda</i> gen.sp.	ρ	3					
Всего видов		7	9	10	7	10	9

Примечание: 1 – единично, 2 – очень редко, 3 – редко, 5 – нередко, 7 – часто, 9 – очень часто. *Пустые раковины, шкурки и склериты.

Сведения о количестве таксономических групп, видов, численности, биомассе и сапробности в местах отбора гидробиологических проб в осенний период 2021 г. представлен в таблице 3.

Согласно полученным данным в ходе исследования, было выявлено, что зообентос рыбохозяйственных прудов НИИ рыбоводства в количественном отношении развивается неравномерно. В ноябре 2021 г. был обнаружен 31 вид организмов зообентоса: поденки – 1 вид, ручейники – 1 вид, малощетинковые черви – 8 видов, ракообразные – 1 вид, моллюски – 6 видов (в основном, пустые раковины и створки), двукрылые из сем. Chironomidae – 14 видов.

Таблица 3

**Общие показатели численности и биомассы организмов зообентоса
рыбоводных прудов при НИИ рыбоводства Узбекистана
в осенний период 2021 года**

Точки отбора проб зообентоса	Общее число таксономических групп	Общее число видов	Численность (экз./м ²)	Биомасса (г/м ²)	Сапробность точки отбора проб
7-отсек	4	7	326	2,2278	3,29
ВП-7	2	9	1351	2,4884	2,78
5-отсек	6	10	327	4,3544	3,05
ВП-9	2	7	7064	48,6511	3,0
ВП-8	3	10	1477	7,1739	3,25
Канал	3	9	302	19,6514	3,16

По показателям зообентоса 7 отсек, соответствует β - α -мезасапробной зоне, т. е. показатели сапробности (S) находятся в диапазоне между 2,5 до 3,00. Это значит, что качество воды соответствует III–IV классу: переходное состояние от умеренно-загрязненных вод к загрязненным водам.

β - α -мезасапробная зона характеризуется наличием в воде соединений азота в форме нитратов и нитритов, помимо всего прочего, могут быть отмечены amino- и амидо- кислоты, из-за чего условия гидросреды склонны переходить в полуанаэробный режим, растворенного в воде кислорода не так много, как в β -мезасапробной зоне, поэтому заморы у дна и ночью из-за прекращения фотосинтеза отмечаются намного чаще, отмечено присутствие сероводорода в больших количествах (слоистые серые и темно-серые илы с запахом сероводорода), характер биохимических процессов восстановительно-окислительный.

ВП-9 и ВП-8, ВП – 7, 5 отсек и Канал соответствуют α -мезасапробной зоне, т.е. показатели сапробности (S) находятся в диапазоне между 3,00 до 3,50. Это значит, что качество воды соответствует IV классу – загрязненные воды.

α -мезасапробная зона характеризуется присутствием в воде amino- и амидо- кислот, условия гидросреды склонны переходить в полуанаэробный режим, растворенного в воде кислорода мало, что может вызвать заморы у дна и ночью из-за прекращения фотосинтеза, отмечено присутствие сероводорода в больших количествах (слоистые серые и темно-серые, или даже черные илы с запахом сероводорода), характер биохимических процессов восстановительно-окислительный.

Исследования проводились в рамках диссертационного исследования по специальности 06.02.03 – «Частная зоотехния; Производство продуктов животноводства» на тему «Разработка технологии интродукции высокопродуктивных гидробионтов в целях повышения естественной кормовой базы в искусственных водоёмах».

Библиографический список

1. Жадин В. И., Герд С. В. Реки, озера и водохранилища СССР, их фауна и флора. М. : Учпедгиз, 1961. 600 с.
2. Мустафаева З. А., Мирзаев У. Т., Камилов Б. Г. Методы гидробиологического мониторинга водных объектов Узбекистана // Методическое пособие. Ташкент : Навруз, 2017. 112 с.
3. Рекомендации. Методы гидробиологического мониторинга водных объектов региона Центральной Азии / под ред. В. Н. Тальских, РУз 52.25.32-97. Ташкент, 1997. С. 67.
4. Попченко В. И., Булгаков Г. П., Тальских В. Н. Мониторинг макрозообентоса // Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В. А. Абакумова. СПб : Гидрометеиздат, 1992. С. 64–103.
5. Минченок Е. Е., Пахомова Н. А. Оценка состояния городских водных экосистем по гидробиологическим показателям // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 3. С. 48–55. doi: 10.25750/1995-4301-2016-3-048-055
6. Вудивис Ф. Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л. : Гидрометеиздат, 1977. С. 132–161.
7. Гинатуллина Е. Н., Титова Н. О. Повышение рыбопродуктивности выростных прудов после проведения мелиоративных мероприятий // Вестник мелиоративной науки. 2021. № 2. С. 18–23.

МОНИТОРИНГ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Н. В. Веденеева¹, С. А. Пластинкин², П. А. Ляпин³

*¹ Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., tichomirova_ei@mail.ru*

*² Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и
инженерии, имени Н. И. Вавилова*

³ Филиал ФГБВУ «ЦЕНТРРЕГИОНВОДХОЗ»

В статье анализируется современное геоэкологическое состояние и дается оценка условий развития опасных природных процессов береговой зоны Саратовского водохранилища. В результате проведенного мониторинга установлено, что геологическая структура береговой зоны водохранилища имеет сложный характер. Тектоническая нестабильность земной толщи в исследуемом районе может привести к непредсказуемым последствиям, в связи с чем, требуется проведение мероприятий по берегоукреплению.

Ключевые слова: Саратовское водохранилище, прибрежная зона, геоэкологические процессы береговой зоны, геоэкологический риск, берегоукрепление.

Саратовское водохранилище – равнинный водоем долинного типа, входящий в состав Волжско-Камского каскада, расположенный на территории Самарской, Ульяновской и Саратовской областей. Общая площадь водного зеркала водохранилища в период паводка свыше 1950 км², средняя площадь –

1728,5 км², объём воды от 10,04 до 13,4 км³, длина составляет в период половодья – 357 км, максимальная ширина достигает 14,5 км, средняя ширина – 5,1 км, максимальная глубина 35 м.

Начало формирования Саратовского водохранилища датируется 2 ноября 1967 года, когда р. Волга была перекрыта у г. Балаково. В результате формирования водохранилища уровень воды расположенной выше по течению Волжской ГЭС поднялся на 3 м относительно меженного. На сегодняшний день нормальный подпорный уровень водохранилища (НПУ) выше меженного уровня Волги до зарегулирования стока на 13 м.

Водохранилище осуществляет ограниченное суточное и недельное регулирование стока. По своему гидрографическому облику Саратовское водохранилище относится к типу одноплесовых. Водоем является сложным в морфологическом и морфометрическом отношении. Обусловлено это его плановой конфигурацией, характеризующейся чередованием больших озеровидных расширений со значительными по длине сужениями, изгибающимися в некоторых случаях под углом практически 90°, наличием обширных мелководных зон в центральной и левобережной части водохранилища.

Создание водохранилища принципиально изменило весь ландшафтный облик дна долины Средней Волги. Одним из наиболее значимых последствий создания водохранилища являются абразионные процессы и стимулируемые ими оползневые и другие склоновые процессы [1, 2].

На современном этапе прибрежные территории водохранилища интенсивно используются и осваиваются для объектов жилищного, рекреационного строительства, сельского хозяйства и рыболовной промышленности, что ведет к активизации геологических процессов, меняющих сложившуюся геоэкологическую обстановку и вызывающих не только различные деформации, но и полное разрушение инженерных сооружений. Разрушение берегов приводит к необратимому изъятию из землепользования прибрежных территорий, вследствие чего создаются катастрофические ситуации с гибелью людей, а также наносится значительный экономический ущерб [3, 4]. Все это определяет необходимость проведения оценки геоэкологического риска, включающую в себя количественную оценку разрушений от воздействия волновых и обвально-оползневых процессов, подтоплений паводковыми и нагонными водами. Такая оценка осуществляется с целью разработки превентивных мероприятий по снижению влияния перечисленных процессов на трансформацию прибрежной полосы, а также способствует решению важных геоэкологических задач.

Были проведены полевые и камеральные геоэкологические исследования прибрежной зоны Саратовского водохранилища в пределах г. Балаково, включая дамбу АЭС, а также села Широкий Буерак Вольского района. Обследование береговой полосы Саратовского водохранилища было выполнено совместно с «Саратовской гидрогеологической экспедицией» ФГУП «Волгагеология».

Проводилось маршрутное обследование берегов водохранилища, оценивали изменения оползневой ситуации на склонах. Работа сопровождалась детальным описанием активизированным старых и возникших новых деформаций. Одновременно охарактеризовали проявление других видов экономико-географических положений (ЭГП), которые потенциально влияют на развитие оползневых процессов.

С построенных совмещенных профилей по створам снимались морфометрические количественные данные уступа: линейное обрушение бровки террасы, объемы разрушенных пород, расстояние абразийного уступа, ширина пляжа. С подводной части – профиль количественной характеристики подводной отмели: ее ширину, крутизну, передний край отмели, тип отмели и динамика ее формирования.

При обследовании прибрежных зон водохранилища выявлены формы и ход проявления абразии, эрозии, оползней и других экзогенных процессов.

В Правобережье Саратовского водохранилища отмечено широкое развитие обвально-оползневых процессов, которые уничтожают благоприятные для освоения прибрежные земли, лесные массивы, вызывают деформации и разрушение расположенных на них сооружений, затрудняют использование больших площадей под жилую и производственную застройку, базы отдыха. Оползневыми цирками различной площади поражены берега практически на всем протяжении от плотины Саратовской ГЭС до города Сызрани, что составляет около 140 км.

Всю прибрежную зону от Саратовской ГЭС до г. Сызрани можно условно разделить на два оползневых района: оползневой район озерной зоны водохранилища и оползневой район озерно-речной зоны водохранилища.

Оползневой район озерной зоны водохранилища протянулся от плотины Саратовской ГЭС до горы Аграфеновской на 90 км. Широкого распространения оползни не получили лишь на отрезке берега Алексеевка – Хвалынский. Рельеф района отличается большой сложностью, сильно расчленен и осложнен оползневыми цирками различной площади. Усугубляют общую инженерно-геологическую ситуацию крупные овраги, верховья которых имеют явно оползневые формы рельефа. В геологическом строении участвуют нижнемеловые, реже – верхнемеловые, а также четвертичные.

От плотины Саратовской ГЭС в сторону с. Широкий Буерак берег на протяжении 3-х км – абразионный, берег непосредственно села – абразионно-оползневой характер. На теле древнего оползня отмечаются оползни-потоки и мини оползни с шириной по фронту до 30–50 м современного периода заложения, а в 500–700 м ниже устьевой части оврага четко просматривается крупный действующий оползень. Выше по течению, в пределах с. Широкий Буерак, склон поражен обширным оползневым цирком, длина оползня по оси смещения достигает 350–360 м, ширина около 2100 м, общая площадь смещенных пород ориентировочно $650\,000\text{ м}^2$. На склоне наблюдается наличие «пьяного леса» (наклонное положение ствола, направленное в сторону склона), разрывы стволов деревьев, наличие больших трещин вдоль ствола, а так-

же наклонное положение (заметные отклонения от вертикали) столбов различных коммуникаций. Помимо этого, наклон имеют и расположенные здесь дома и заборы. При маршрутном обследовании берегов установлено возникновение трещин в области отмостки, в грунте на бровке склона, образование оползневых уступов (террас), грунтовых бугров в нижней зоне склона, а также заметное повышение влажности в зоне подошвы склона, приводящее к заболачиванию участков и выходу под склоном источников воды.

При обследовании дамбы АЭС установлено, что участок расположен на поверхности искусственно намытой песчаной гряды, которая отделяет замкнутый водоем Балаковской АЭС от водохранилища. Протяженность участка дамбы вдоль берега составляет 6 км. По левой стороне намытой песчаной гряды вдоль пруда-охладителя проложена автодорога, а внутренняя часть, обращенная к пруду, укреплена бетонным откосом и подпорной стенкой. Ширина гряды около 30 м. Отмечено наличие жилых и производственных сооружений, а также лесных массивов, находящихся в зоне потенциального обрушения на прибрежной зоне реки Березовка, впадающей в Волгу вблизи дамбы АЭС.

Анализ профилей прибрежных зон Саратовского водохранилища дает возможность установить интенсивность процесса переработки берегового уступа, динамику и нагроможденность руслоформирующих процессов на подводном горизонте. Под переработкой берегов понимается отступление берега искусственного водоема вглубь суши вследствие гидродинамического воздействия, обусловленного главным образом ветровыми волнами [5].

В результате проведенных мониторинговых исследований, установлено береговая зона Саратовского водохранилища подвержена абразионным процессам оползневого, обвального или обвально-осыпного типов, поэтому для снижения скорости абразивных процессов и предотвращения размыва береговой зоны необходимо проведение берегоукрепительных работ.

Библиографический список

1. Белобородов А. В. Обобщение новых морфометрических характеристик ряда водохранилищ по результатам исследований 2007–2012 гг. // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : Труды Междунар. науч.-практ. конф. Перм. гос. ун-т. Т. I. Пермь, 2015. С. 7–12.
2. Гайнуллин И. И., Дёмина Ю. В., Усманов Б. М. Опыт применения ГИС-технологий для оценки интенсивности разрушения археологических памятников в зоне влияния Куйбышевского водохранилища // Краткие сообщения Института археологии. 2012. № 226. С. 54–63.
3. Рагозин А. Л. Методика составления крупномасштабных карт прогноза переработки берегов водохранилищ // Комплексные инженерно-геологические исследования для промышленного и гражданского строительства. М., 1984. С. 7–13.
4. Белобородов А. В. Инженерно-геологическое районирование побережий Саратовского водохранилища // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи : Труды юбилейной конф., посвященной 25-летию образования ИГЭ РАН / отв. ред. В. И. Осипов. М., 2016. С. 253–258.
5. Результаты обследования береговой полосы Саратовского водохранилища в 2003 г. // Отчет ФГУГП «Волгагеология», Саратовская ГГЭ. Саратов, 2003. 184 с.

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЗЕРА КОВАЛИНСКОЕ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

И. И. Зиганшин^{1,2}, Д. В. Иванов¹, Р. Р. Хасанов¹, А. В. Кузнецова²

¹ *Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, water-rf@mail.ru*

² *ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,
iriziganshin@kpfu.ru*

Статья посвящена изучению динамики основных морфометрических показателей одного из крупнейших водоемов Республики Татарстан, особо охраняемого озера Ковалинского, расположенного в пригородной зоне г. Казани. Несмотря на наличие природоохранного статуса, акватория озера и его прибрежная зона подвергаются существенному антропогенному воздействию. Проведенный морфометрический анализ показал, что за 79-летний период отмечается тенденция к уменьшению основных морфометрических параметров озера. При сохранении существующих темпов антропогенной нагрузки прогнозируется дальнейшее сокращение площади акватории и потери водности уникального водоема.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, озеро Ковалинское, особо охраняемые природные территории, динамика морфометрических показателей, Республика Татарстан.

Озеро Ковалинское, расположенное северо-восточнее села Песчаные Ковали Лайшевского муниципального района Республики Татарстан (РТ), является одним из крупнейших по площади естественных водоемов Среднего Поволжья. Озеро имеет значимое хозяйственное значение, являясь важным источником водоснабжения близлежащих населенных пунктов, сельскохозяйственных и промышленных предприятий. Ресурсы водоема активно используются местным населением и туристами в утилитарных, оздоровительных и рекреационных целях. Ковалинское озеро обладает высоким эколого-рекреационным потенциалом, что определило активное развитие на его акватории широкого спектра видов водного туризма и рекреации [1]. При этом следует отметить, что фактические рекреационные нагрузки на водоем не превышают предельно допустимых значений [2].

Озеро карстового происхождения, бессточное, имеет сложную форму, которая определена многочисленностью и неодновременностью карстовых провалов и эрозионной расчлененностью территории его расположения. Озеро расположено в пределах Кабанской овражно-балочной эрозионной системы. Питание смешанное, грунтовое и атмосферное. Берега озера низкие, пологие, песчаные. Озеро состоит из трёх озеровидных плесов – Ковалинского (с глубинами до 13 м), Среднего (1–3 м) и Зимницы (1–2 м). Юго-западный

берег озера плотно окружен селитебной застройкой. На восточном берегу расположена птицефабрика ОАО «СПХ «Яратель», для которой озеро является основным источником водоснабжения.

Постановлением Совета Министров Татарской АССР № 25 от 10.01.1978 г. и Постановлением Кабинета Министров РТ от 29.12.2005 г. № 644 озеро Ковалинское признано памятником природы регионального значения [3]. Несмотря на природоохранной статус, акватория озера и его прибрежная зона подвергаются значительному воздействию хозяйственно-селитебной и рекреационной деятельности, которая существенно усилилась в последние десятилетия. Массовый неорганизованный отдых на берегах и акватории озера, забор воды для питьевых и хозяйственных целей, размещение объектов жилой и промышленной застройки, существенное уменьшение площади водосбора, размещение летних лагерей крупного рогатого скота и сельскохозяйственной водоплавающей птицы – все это отразилось как на водности и размерах водоема, так и на качестве воды. Деградация озер Волго-Мешиского междуречья, в том числе обладающих статусом особо охраняемых природных территорий, к сожалению, становится характерной тенденцией последних десятилетий [4, 5].

Негативное воздействие хозяйственной и рекреационной деятельности наиболее сказалось на морфометрических параметрах озера, которые существенно изменились за последнее столетие. Современная площадь водного зеркала Ковалинского озера (на август 2021 г.) составляет 100,8 га, при максимальной длине озера 5044 м и максимальной ширине 1014 м (табл.).

Таблица

Динамика основных морфометрических показателей оз. Ковалинское

Год	Площадь, га	Объем, тыс. м ³	Длина, м	Ширина, м		Глубина, м	
				сред.	макс.	сред.	макс.
1942	146,5	–	5483	267	1126	–	–
1969*	131,5	4510	5326	247	1069	3,4	13,3
2016	100,4	3549	5039	199	1011	3,0	13,0
2019	85,99	2580	3730	231	941	2,7	12,0
2021	100,8	3580	5044	200	1014	3,0	13,0

Примечание: прочерк означает отсутствие данных, * – согласно фондовым и ранее опубликованным данным [6, 7].

Сопоставление разновременных картографических данных (с 1942 по 2021 гг.) выявило тенденцию значительного сокращения основных морфометрических показателей водоема (табл.). За период с 1942 по 1969 гг. акватория уменьшилась на 15 га. За последующие 47 лет площадь водного зеркала озера сократилась еще более чем на 30 га. Пропорционально изменению площади акватории происходило и сокращение объема воды (рис. 1). Особенно сильную трансформацию претерпел северный плес (Зимница), в настоящее время существующий в виде небольшого пересыхающего фрагмента, заросшего высшей водной растительностью (рис. 2).

В 2019 г. произошло сокращение площади акватории и водности озера. По сравнению с 2016 г. акватория озера сократилась почти на 15%, водность – на 10%, на 1 метр уменьшилась максимальная глубина (табл.). Причиной стал рекордно низкий уровень воды в Куйбышевском водохранилище (в районе г. Казани отметка упала до 49,7 м при нормальном подпорном уровне 53 м).

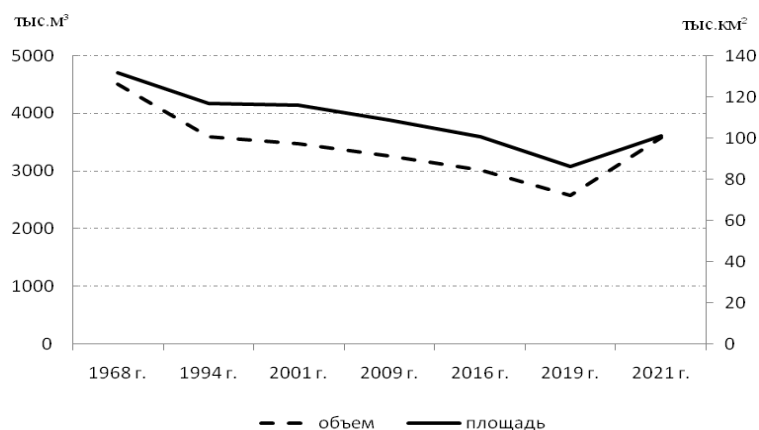


Рис. 1. Динамика изменения площади акватории и объема воды в оз. Ковалинское

Обмеление р. Волга повлекло за собой падение уровня грунтовых вод, вследствие которого для озер, питающихся преимущественно грунтовыми водами, отмечалось сокращение площади акватории и водности. Питание Ковалинского озера в настоящий момент в основном грунтовое. Значимость атмосферных осадков в водном балансе озера значительно снижалась в связи со строительством обширной сети автомобильных дорог, резко сокративших водосборную площадь. Негативную роль в уменьшении морфометрических показателей озера в 2019 г. сыграли незаконные земляные работы в северной части акватории, в результате которой была засыпана протока, соединяющая основную часть водоема с плесом Зимица, который в результате оказался полностью изолированным (рис. 2).

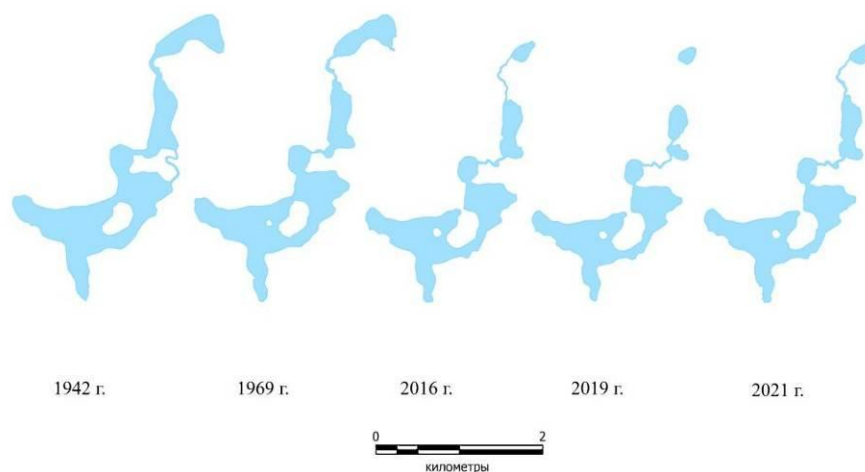


Рис. 2. Динамика изменения площади водного зеркала оз. Ковалинское с 1942 по 2021 гг.

Восстановление уровня воды в Куйбышевском водохранилище до нормального подпорного уровня и устранение последствий незаконного перекрытия северной части озера привели к восстановлению площади акватории и водности водоема к уровню 2016 г. (рис. 2). Однако, в более долгосрочной перспективе, при сохранении существующих темпов антропогенной нагрузки можно прогнозировать дальнейшее обмеление и потерю водности озера. Для сохранения уникального водоема региона необходимо принятие комплекса природоохранных мер.

Библиографический список

1. Оценка рекреационной привлекательности и возможности использования для целей туризма и рекреации озер Республики Татарстан / И. И. Зиганшин, Д. В. Иванов, Е. В. Осмелкин, М. В. Суин, А. А. Карпеева // Георесурсы. 2011. № 5. С. 35–40.
2. Зиганшин И. И., Иванов Д. В. Рекреационная ёмкость как показатель эколого-туристского потенциала особо охраняемых озёр Республики Татарстан // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 95–102. doi: 10.25750/1995-4301-2017-1-095-102
3. Государственный реестр особо охраняемых природных территорий в Республике Татарстан. Казань : Изд-во «Идел-Пресс», 2007. 407 с.
4. Морфометрические и экологические преобразования озер – памятников природы / А. Т. Горшкова, О. Н. Урбанова, А. Р. Валетдинов, О. В. Павлова, Н. В. Бортникова, Д. А. Семанов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5. Ч. 3. С. 174–178.
5. Зиганшин И. И., Иванов Д. В., Хасанов Р. Р. Динамика морфометрических показателей особо охраняемых водоемов Лаишевского района Республики Татарстан // Российский журнал прикладной экологии. 2017. № 1. С. 38–43.
6. Кадастр озер Республики Татарстан. Архив ИПЭН АН РТ. Казань, 1969. Т. 3. 301 с.
7. Озера Среднего Поволжья. Л. : Наука, 1976. 236 с.

ВОДНЫЙ УЧАСТОК КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «КАРБОН – ПОВОЛЖЬЕ» В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

**О. В. Никитин¹, В. З. Латыпова¹, Н. Ю. Степанова¹,
Т. Я. Ашихмина^{2,3}**

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

² Вятский государственный университет, ecolab2@gmail.com

³ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

В статье представлены сведения о создаваемой в Российской Федерации сети карбоновых полигонов, предназначенных для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса, приводится информация о карбоновом полигоне в Республике Татарстан «Карбон – Поволжье», с акцентом на его водный участок.

Ключевые слова: изменение климата, карбоновый полигон, углеродный баланс, поверхностные воды, водохранилище.

В целях реализации национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года [1], в соответствии со Стратегией научно-технологического развития [2], и Климатической доктриной [3], в связи с необходимостью повышения эффективности научно-технической деятельности в области экологического развития и климатических изменений, в России реализуется пилотный проект по созданию полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса как специально оборудованных участков местности, используемых для разработки и испытаний технологий дистанционного и наземного контроля эмиссии парниковых газов и других значимых для изменения климата параметров и проведения исследований источников и поглотителей парниковых газов [4]. Для координации деятельности в рамках проекта, при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации создан Экспертный совет по вопросам научного обеспечения развития технологий контроля углеродного баланса.

Карбоновый полигон – один или несколько участков земной поверхности с репрезентативными для данной территории рельефом, структурой растительного и почвенного покрова, на котором реализуется комплекс мероприятий, направленных на развитие научного, кадрового и инфраструктурного потенциалов в области разработки и испытаний технологий контроля баланса климатически активных газов природных экосистем. На карбоновом полигоне проводятся эксперименты по измерению эмиссии и поглощения парниковых газов посредством наземных и дистанционных методов для оценки пространственной и временной изменчивости потоков климатически активных газов, а также определения интегральных значений составляющих радиационного, теплового, водного и углеродного баланса. Кроме того, в рамках деятельности полигона осуществляется подготовка кадров высшей квалификации в области новейших методов экологического контроля, перспективных технологий для низкоуглеродной индустрии, сельского и муниципального хозяйства [5]. Срок работы полигона составляет не менее 15 лет.

Карбоновые полигоны позволяют проводить ряд важнейших исследований в сфере экологии, таких как:

- Инвентаризация климатически активных газов (прямые измерения потоков газов в различных условиях; неконтактные измерения, их обработка и интерпретация), оценка баланса углерода территории.

- Локальное мезомасштабное моделирование процессов, включая технологии машинного обучения.

- Разработка и адаптация наземных технологий и технологий дистанционного учёта фитомассы, агрохимического контроля почв и измерения парниковых газов.

- Создание и апробация технологий, способствующих секвестрации углерода.

В 2021 г. в перечне организаций, участвующих в реализации пилотного проекта по созданию полигонов для разработки и испытаний технологий кон-

троля углеродного баланса, утвержден Карбоновый полигон «Карбон – Поволжье» в Республике Татарстан, оператором программы определен ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» [6, 7]. Общая стратегическая многолетняя (до 2030–2035 гг.) цель полигона – получение и накопление синхронных метеорологических параметров и данных по концентрации климатически активных газов, региональная верификация методик, учитывающих влияние изменений концентраций парниковых газов и климатические изменения на территории Республики Татарстан. Полученные сведения внесут вклад в создание системы измерения углеродного баланса природных и антропогенно изменённых экосистем, позволят осуществлять разработку технологий долговременного депонирования углерода.

Программой создания и функционирования карбонового полигона «Карбон – Поволжье» предусмотрено проведение исследований на трёх участках. Два участка предназначены для наблюдения за наземными экосистемами:

1. Участок «Обсерватория» расположен в Зеленодольском районе Республики Татарстан, в фитоценозе, широко распространенном на территории Европейской части России, а именно – широколиственном лесу, испытывающем антропогенное давление средней интенсивности и имеющем длинную историю освоения. Наивысшая высота над уровнем моря – 103 м, минимальная – 95 м, перепад – 8 м.

2. Участок «Большие Кабаны» расположен в Лаишевском районе Республики Татарстан, в лесостепной зоне РФ, является водораздельной равниной рек Волга и Кама. Серые лесные почвы этого района занимают 21% от общей площади сельскохозяйственных угодий. Они характеризуются периодически промывным типом водного режима, имеют кислую или слабокислую реакцию солевого раствора, небольшое количество гумуса, плохую водопрочность структуры, после дождя заплывают и образуют корку. Планируется как испытательный участок карбоновой фермы.

В рамках работ по определению объёмов эмиссии и стока климатически опасных газов на примере водных экосистем Среднего Поволжья планируется размещение станции наблюдения карбонового полигона в акватории Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (участок «Саралы»). Участок заповедника расположен в Лаишевском районе Республики Татарстан и имеет вид полуострова, выдвинутого в Волжско-Камский плёс Куйбышевского водохранилища в отдалении от крупных населенных пунктов (рис.). Экологическое состояние вод Куйбышевского водохранилища в районе Волжско-Камского плеса (в акватории Саралинского участка заповедника), характеризуется по физико-химическим показателям, как «достаточно чистые воды», находится в стабильном положении на протяжении последних лет. Превышения ПДК_{р/х} по биогенным веществам не отмечается, содержание органических веществ (по БПК₅ и ХПК) находится в пределах нормы. В летний период отмечаются высокие значения pH, что связано с развитием фитопланктона. Газовый режим харак-

теризуется нормальным насыщением растворенного кислорода в поверхностном слое. Содержание тяжелых металлов, кроме меди и железа, соответствует фоновому содержанию в водах Республики Татарстан. Данный участок особо охраняемой территории можно характеризовать (по физико-химическим показателям) как эталонный для Куйбышевского водохранилища в пределах республики.

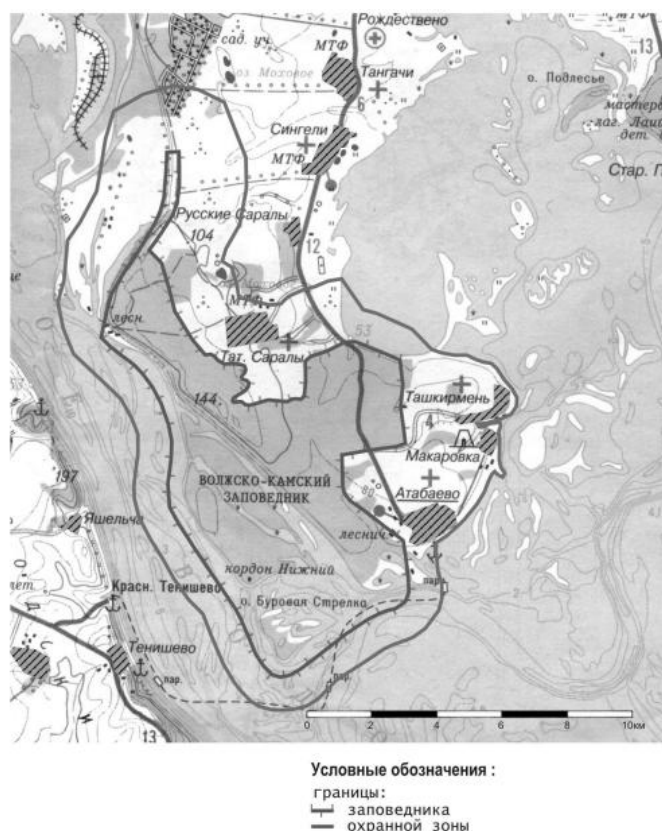


Рис. Границы заповедника и охранной зоны Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника [8]

В настоящее время на территории России действуют 15 карбоновых полигонов, с общей площадью 39 157 га. Среди действующих полигонов только на полигоне в Республике Татарстан предусмотрено наблюдение за акваторией водохранилища. В то же время, в последние несколько десятилетий, остро обсуждается вопрос выбросов парниковых газов в атмосферу с поверхности водохранилищ. Многочисленными исследованиями, выполненными в различных регионах мира, подтверждены выбросы парниковых газов с поверхности внутренних водоёмов, состав и интенсивность которых могут существенно отличаться [9–11]. Это требует для каждого интересующего объекта проведения индивидуальных натурных исследований для количественной оценки эмиссии и стока парниковых газов. По данным проведённой отечественными учеными оценки [12], суммарная годовая эмиссия метана с водохранилищ Российской Федерации составляет 0,4–0,54 Тг $\text{CH}_4\text{-C/год}$ (0,53–0,72 Тг $\text{CH}_4\text{/год}$), т.е. более 16–19% от суммарной эмиссии с искусственных водоёмов мира, или 3–4% от суммарной эмиссии. При этом суммарная пло-

щадь водохранилищ РФ составляет 17,7 % от площади водохранилищ учтённой (без зарегулированных озёр).

Несмотря на многочисленные оценки глобальной эмиссии метана и попытки параметризации удельного потока метана для неохваченных наблюдениями водоёмов, данный вопрос требует дальнейшего изучения, т.к. приведённую оценку следует рассматривать как ориентировочную. Необходимо пополнять банк данных по разнотипным водохранилищам в различных природных зонах с учётом степени антропогенного воздействия и загрязнения водоёмов. Необходимы натурные измерения с поверхности водоёмов для оценки удельной плотности потока парниковых газов и изучения его изменений в зависимости от характера продукционных процессов в водоёмах, кислородного режима, зарослей макрофитов и синоптических условий [12–14].

Таким образом, накопление данных о содержании в атмосфере климатически активных газов, выявление взаимосвязей между функционированием водных сообществ с точки зрения особенностей круговорота углерода, а также влияния этих сообществ на содержание в атмосфере этих газов является актуальной задачей. Реализация исследований в рамках водного участка карбонового полигона «Карбон – Поволжье» позволит получить актуальные данные об эмиссии и стоке парниковых газов с поверхности Куйбышевского водохранилища, с выделением вклада в интегральный поток водных процессов.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2022-0003.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 г. № 3183-р. Об утверждении национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года.
2. Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.
3. Распоряжение Президента Российской Федерации от 17 декабря 2009 г. № 861-рп. О Климатической доктрине Российской Федерации.
4. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 05.02.2021 N 74. О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса.
5. Протокол Экспертного совета при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации по вопросам научного обеспечения развития технологий контроля углеродного баланса от 17.05.2021 г. № ВФ/14-пр.
6. Протокол заседания Экспертного совета при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации по вопросам научного обеспечения развития технологий контроля углеродного баланса от 14.07.2021 № ВФ/26-пр.
7. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 08.09.2021 N 845. О внесении изменений в приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 5 февраля 2021 г. N 74 «О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса».
8. Положение о федеральном Государственном учреждении «Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник» (с изм., утвержденными приказом

МПР России от 17.03.2005 № 66, приказами Минприроды России от 27.02. 2009 № и 48 и от 26.03. 2009 № 71).

9. Выбросы парниковых газов с водохранилищ ГЭС: анализ опыта исследований и организация проведения экспериментов в России / В. В. Елистратов, В. И. Масликов, Г. И. Сидоренко, Д. В. Молодцов // Энергетика и экология. 2014. № 11. С. 146–159.

10. Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis / B. R. Deemer, J. A. Harrison, S. Li, J. J. Beaulieu, T. DelSontro, N. Barros, J. F. Bezerra-Neto, S. M. Powers, M. A. dos Santos, J. A. Vonk // BioScience. 2016. Vol. 66 (11). P. 949–964. doi: 10.1093/biosci/biw117

11. 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

12. Гречушникова М. Г., Школьный Д. И. Оценка эмиссии метана водохранилищами России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 2. С. 58–71.

13. Домрачев Д. Г., Кирилловых А. А. Правовой режим ограничения выбросов парниковых газов как инструмент защиты климата // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 191–197. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-191-197

14. 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

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РОДНИКОВ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ

О. А. Ботяжова, Л. А. Белякова

*Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова,
botyazh@uniyar.ac.ru*

Дана оценка качества воды родников на основе результатов биотестирования, физико-химического и бактериологического анализов. Выявлена токсичность нативной воды всех источников и определён коэффициент разбавления родниковой воды до безопасного уровня водопользования. Установлено соответствие химического состава и бактериологических показателей большинства проб воды нормативным значениям.

Ключевые слова: родник, качество воды, биотестирование, цеериодафнии, органолептические свойства, химический состав, микробиологические показатели, нормативный показатель.

«Вода» – одно из пяти направлений нового национального проекта «Экология», рассчитанного на реализацию в России с 2019 по 2024 гг. Цель проекта – кардинально улучшить экологическую обстановку и положительно повлиять на оздоровление россиян.

Для человека, как и для любого живого организма, вода играет важнейшую роль в поддержании жизни, при этом огромное значение имеет качество питьевой воды, так как чистая вода – залог здоровья.

В Ярославской области вопрос о качестве питьевой воды остаётся одним из приоритетных. Подземные воды как источники чистой питьевой воды являются значимой альтернативой поверхностных водотоков, подвергающихся высокой техногенной нагрузке.

Регион имеет большое количество подземных источников водопользования, но их состояние не всегда соответствует нормам. К сожалению, родники, расположенные на территории и вблизи населённых пунктов, испытывают высокие антропогенные нагрузки. Это приводит к ухудшению свойств родниковой воды. По данным гидрохимического опробования в 2021 г. в подземных водах волжскоаптского водоносного горизонта на водозаборе ГП ЯО «Северный водоканал» Некоузского района (п. Волга) отмечалось превышение ПДК: аммиака (по азоту) – в 1,6 раза, железа – в 83,3, марганца – в 1,9, магния – в 1,64, минерализации – в 1,1, общей жесткости – в 2,3, перманганатной окисляемости – в 1,1 раз. Источником загрязнения подземных вод являются пруды-отстойники шерстопрядильной фабрики [1]. Превышение ПДК веществ может стать причиной серьезных заболеваний организма: повышенное содержание железа вызывает нарушение обмена веществ, дерматиты, болезни почек, печени, селезенки. При увеличении общей жесткости воды чрезмерно страдает сердечно-сосудистая система, а продолжительное использование жесткой воды чревато возникновением заболеваний суставов, образованием камней в почках и желчных путях и др.

Одна из задач проекта «Экология» – повышение качества питьевой воды для населения, в том числе для жителей населённых пунктов, не оборудованных современными системами централизованного водоснабжения, поэтому состояние родниковой воды необходимо контролировать. Важными критериями качества питьевой воды служат органолептические свойства, химический состав и санитарно-бактериологическое состояние.

В период 1999–2003 гг. на территории Ярославской области было проведено исследование органолептических, геохимических и бактериологических характеристик воды 160 родников. Результаты комплексного подхода показали, что родниковые воды в большинстве случаев характеризуются удовлетворительными органолептическими свойствами, умеренной жёсткостью и средней минерализацией, что выгодно их отличает от воды рек, колодцев и скважин. В то же время только в 27 родниках бактериологические показатели (общее микробное число, коли-индекс) отвечают нормам СанПиН 2.14.559-96, т. е. употреблять сырую родниковую воду не рекомендуется [2].

Цель настоящей работы – оценить качество родниковой воды, используемой населением, и её пригодность для питьевых нужд.

При оценке качества воды использовали комплексный подход, определяя токсикологические, гидрохимические и микробиологические показатели. Тестировали воду трёх подземных источников, пользующихся широкой известностью у населения: «Иваньковский» родник (№ 1), родники в поселках Карабиха (№ 2) и Красные Ткачи (№ 3).

Биотестирование проб воды из родников проводили с использованием в качестве тест-объекта ветвистоусых ракообразных *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Определяли выживаемость цериодафний (острый опыт, 48 час.) в пробах родниковой воды и в контроле в соответствии с методическим руководством по биотестированию воды РД-118-02-90. Результаты исследования показали, что нативная вода из всех трех подземных источников являлась токсичной в осенний (2021 г.), зимний и весенний периоды (2022 г.), о чём свидетельствует показатель летальности, составлявший от 20 до 50% [3]. Разбавление воды снижало гибель цериодафний. Безопасный уровень водопользования достигался при кратности разбавления воды в 2–8 раз для различных родников и в разные сезоны года.

Токсичность воды всех родников характеризуется межгодовой и сезонной динамикой. Наименьшее токсическое влияние на выживаемость рачков оказывали пробы воды, взятые для биотестирования в 2021–2022 гг., по сравнению с 2019 и 2020 гг. Наибольшая токсичность проявлялась в осенние сезоны 2019–2021 гг. Сравнение данных токсикологического эксперимента воды из разных родников показало, что вода из п. Карабиха обладала наименьшими токсическими свойствами, на что указывает 2–4-х кратное разбавление до безопасного уровня по сравнению с 8-ми кратным для родников «Иваньковский» и Красные Ткачи.

Данные, полученные на основе методов биотестирования, позволяют провести интегральную оценку токсичности вод и могут служить отправной точкой для более детального анализа качества питьевой воды.

Наряду с токсикологической оценкой в зимний и весенний сезоны 2022 г. были проведены лабораторные исследования органолептических (запах, цветность, мутность), химических (рН, железо общее, жесткость общая, железо общее, хлориды, перманганатная окисляемость, общая минерализация, щёлочность, гидрокарбонаты) и микробиологических (общее микробное число – ОМЧ, общие и термотолерантные колиформные бактерии – ОКБ и ТКБ, энтерококки и *Escherichia coli*) показателей всех трёх источников.

Результаты лабораторного анализа проб воды свидетельствуют, что качество воды всех трёх источников остаётся относительно стабильным независимо от сезонов года. Средние показатели запаха находятся на уровне 0–1 балла, цветности – менее 5° (родники № 1 и № 2) и $6 \pm 2^\circ$ (родник № 3). Показатель мутности воды в «Иваньковском» роднике не превышал нормы, в пробах посёлков Красные ткачи (зимой 2022 г.) и Карабиха (весной 2022 г.) отмечали превышение нормативных значений в 2 и 4–6 раз соответственно.

Средние данные по обобщённым показателям (водородный показатель рН, общая минерализация, окисляемость) в исследуемый период не превышали нормативных значений. Максимальные значения рН, общей минерализации и перманганатной окисляемости составляли соответственно $8,2 \pm 0,2$ ед. рН, 369 ± 11 мг/дм³ и $3,44 \pm 0,34$ мг/дм³ в воде родника Красные Ткачи (зимой 2022 г.). Общая жёсткость воды соответствовала гигиеническому нормативу в родниках посёлков Карабиха и Красные Ткачи как в зимний, так и в весенний

сезоны 2022 г. В образцах «Иваньковского» родника весной 2022 г. показатель общей жёсткости был немного выше нормативного и составлял $7,6 \pm 1,1$ против $7,0$ °Ж по ГОСТ 31954-2012. Анализ содержания железа показал, что в пробах воды посёлков Карабиха и Красные Ткачи имело место превышение нормативного значения в 2,5–4 раза и в зимний, и в весенний периоды года. Вода всех родников содержала следовые количества хлоридов и гидрокарбонатов, составляющие 1–5% от нормативных значений показателей по ГОСТ 4245-72.

По результатам микробиологических испытаний вода «Иваньковского» родника полностью соответствовала гигиеническим нормативам. В образцах всех родников значения показателей ОМЧ не превышали норматив 50 КОЕ/см^3 , а ТКБ отсутствовали. Однако в воде посёлков Карабиха и Красные Ткачи в незначительных количествах присутствовали ОКБ, которые при высоких уровнях могут приводить к расстройствам желудочно-кишечного тракта.

Особо важно подчеркнуть, что в воде всех родников как в зимний, так и в весенний периоды исследования энтерококки и *Escherichia coli*, являющиеся индикаторами фекального загрязнения, не обнаружены.

Подводя итоги проведённого исследования, можно отметить, что родники «Иваньковский», посёлков Карабиха и Красные Ткачи активно посещаются и пользуются широкой популярностью как у сельских, так и у городских жителей. Нахождение этих подземных водных источников в районах населённых пунктов и коллективных садово-огородных товариществ делает их особо уязвимыми в плане антропогенного загрязнения. Вместе с тем можно констатировать, что воды родников в большинстве обследованных проб характеризуются благоприятными органолептическими свойствами, безвредны по химическому составу и безопасны в эпидемиологическом отношении, так как соответствуют требованиям СанПиН [4].

Однако негативная токсикологическая характеристика нативной воды, превышение в отдельных пробах нормативных значений показателей мутности, общей жёсткости, общего железа и присутствие ОКБ свидетельствуют о необходимости осуществления систематического мониторинга качества питьевой воды нецентрализованных источников водоснабжения, к каковым относятся не только колодцы, но и родники [5].

В целях обеспечения профилактических мер по сохранению здоровья при использовании для питьевых нужд воды обследованных родников населению рекомендовано отстаивание, очистка бытовыми фильтрами и термическая обработка родниковой воды.

Библиографический список

1. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2021 г. Вып. 45. Санкт-Петербург, 2022. С. 83–85.
2. Рохмистров В. Л. Родники Ярославского Поволжья // Вестник Ярославского регионального отделения РАЕН. 2009. Т. 3, № 3. С. 14–18.

3. Флеров Б. А., Комов В. Т. Оценка экологического состояния водоемов при антропогенном воздействии // Гидробиологический журнал. 1991. Т. 27, № 3. С. 23.

4. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Введ. 2002-01-01. М. : Изд-во стандартов, 2002.

5. Кутявина Т. И., Ашихмина Т. Я. Современное состояние и проблемы мониторинга поверхностных водных объектов России (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 13–21. doi: 10.25750/1995-4301-2021-2-013-021

ИЗУЧЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ МИКРОРАЙОНА «ЧИСТЫЕ ПРУДЫ» ГОРОДА КИРОВА

А. С. Пакичев, Т. А. Адамович

Вятский государственный университет, alexsandrpakichev@gmail.com

В настоящей статье представлены результаты изучения состояния водных объектов микрорайона «Чистые пруды» г. Кирова. Исследована динамика физических и химических показателей качества воды за период 2020–2021 гг. По результатам проведенных исследований установлено, что физико-химические показатели в пробах воды прудов микрорайона «Чистые пруды» находится в пределах нормы.

Ключевые слова: физико-химические показатели, водные объекты, микрорайон «Чистые пруды».

На сегодняшний день проблема загрязнения водных объектов является очень актуальной. Напряженность экологической обстановки связана с воздействием антропогенных факторов. Котельные, автотранспорт, промышленные объекты, энергетические предприятия негативно влияют на окружающую среду за счет выбросов в атмосферу. Загрязняющие вещества, попадая в природные водоемы, приводят к изменению экологического состояния водного объекта, которое проявляется в изменении физических свойств и химического состава воды [1–3].

Пруд рыболовного клуба «Белуга» уже давно считается хорошим местом для рыбалки находящимся в черте г. Кирова (рис. 1). В данном пруду содержатся разные виды рыбы, такие как: карп, щука, осетр, окунь, форель. Осетровые являются исключительно трофейным видом, с ним делают фото и отпускают обратно в водоём. Так же вокруг самого пруда обустроены домики-беседки, где отдыхающие проводят время и оттуда же ловят рыбу. На территории клуба присутствует охрана, которая следит за порядком и соблюдением правил посетителями. Вся территория клуба огорожена высоким забором, что частично защищает пруд от пыли с пролегающей рядом дороги.

Поблизости с клубом «Белуга» располагаются два пруда находящиеся рядом с частными жилыми домами. По словам местных жителей известно, что исследуемый пруд имеет водоснабжение из минерального источника на глубине пруда по трубе (рис. 2). Возле рассматриваемого объекта исследования так же, как и в первом случае проходит дорога, где постоянно ходит автотранспорт.



Рис. 1. Акватория пруда «Белуга»



Рис. 2. Акватория пруда центральной бригады

При осмотре водных объектов особое внимание уделяют органолептической оценке качества воды, которая является обязательной начальной процедурой санитарно-химического контроля. К органолептическим характеристикам относятся цветность, прозрачность, запах, вкус и привкус, пенистость [4].

Поверхностные воды содержат большое количество химических загрязнителей, таких как кислоты, щелочи, соли, тяжелые металлы, фенолы, пестициды, нефть и нефтепродукты. Большинство из них попадает в воду в результате человеческой деятельности. Химический состав природной воды определяет ее качество и пригодность для дальнейшего использования [5].

Цель работы – выявить динамику физико-химических показателей в пробах воды микрорайона «Чистые пруды» г. Кирова за период 2020–2021 гг.

Для проведения исследования были отобраны пробы поверхностных вод в марте 2020 и в сентябре 2021 гг. Исследования проводили в лабораториях Института химии и экологии Вятского государственного университета. В отобранных пробах определяли органолептические показатели по ГОСТ 2761-84, содержание нитрат-, нитрит-, гидрокарбонат-ионов, водородный показатель, жесткость и электропроводность. Водородный показатель измеряли на рН-метре МИ-150 согласно РД 52.24.495-2017, электропроводность – на кондуктометре «Cond 340i». Определение содержания ионов проводили фотометрическим методом. Исследуемые водные объекты относятся к объектам хозяйственно-питьевого и культурно-бытового значения (ГН 2.1.5.1315-03).

Результаты органолептических показателей в пробах воды микрорайона «Чистые пруды» г. Кирова за период 2020–2021 гг. представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Динамика органолептических показателей в пробах воды
за период 2020–2021 гг.**

Показатель	Март 2020 г.		Сентябрь 2021 г.	
	пруд центральной бригады	пруд «Белуга»	пруд центральной бригады	пруд «Белуга»
Запах	Сильный	Заметный	Нет	Очень слабый
Цветность	Слабо желтоватая	Слабо желтоватая	Бесцветная	Бесцветная
Мутность	Прозрачная	Прозрачная	Прозрачная	Прозрачная

При определении органолептических показателей проб воды было установлено полное соответствие значений этих показателей требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 для поверхностных вод. Органолептические показатели в 2021 г. стали лучше, чем в 2020 г. Запах в сравнении с результатами за 2020 г. стал значительно меньше, исчезла цветность воды, что может свидетельствовать об уменьшении содержания гумусовых веществ.

Результаты химического анализа проб воды из водоёмов микрорайона «Чистые пруды» г. Кирова за период 2020–2021 гг. представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Динамика химических показателей в пробах воды
за период 2020–2021 гг.**

Показатель	Март 2020 г.		Сентябрь 2021 г.		ПДК
	пруд центральной бригады	пруд «Белуга»	пруд центральной бригады	пруд «Белуга»	
pH	7,3±0,2	7,2±0,2	8,8±0,2	7,6±0,2	–
Электропроводность, мкСм/см	800±20	390±15	833±20	468±20	–
Жесткость, моль/л	5,9±0,2	3,8±0,2	2,8±0,2	2,7±0,2	–
NO ₃ ⁻ , мг/л	0,060±0,004	0,0500±0,0035	0,0329±0,0023	0,0327±0,0023	45
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,0555±0,0039	0,0084±0,0006	0,0386±0,0027	0,0402±0,0028	3,3
HCO ₃ ⁻ , мг/л	885±23	550±15	339±20	135±10	–

Примечание: прочерк обозначает отсутствие норматива.

Согласно полученным данным (табл. 2), значения pH находятся в пределах норматива СанПин 2.1.4.1074-01 для питьевой воды (6,5–8,5). Электропроводность в пруду центральной бригады выше в результате более высокого содержания растворенных минеральных солей. Полученные значения электропроводности свидетельствуют о среднем уровне минерализации воды в исследуемых водоемах. В марте 2020 г. жесткость была выше, это объясняется тем, что карбонатная жесткость является временной и может изменяться в результате жизнедеятельности обитателей водоёма. Низкое содержание нит-

ратов в воде говорит о её чистоте. Небольшие изменения так же возможны в результате жизнедеятельности обитателей водоёма. Нитриты не превышали значений ПДК. Щелочность составила 885–550 мг/л в пруду центральной бригады и в пруду «Белуга» соответственно в 2020 г. и 339–135 мг/л – в 2021 г. Более высокое содержание гидрокарбонатов в пруду центральной бригады, вероятно, связано с протекающими в водоеме жизненными процессами, взаимодействием воды с известняками и растворением атмосферного углекислого газа.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что исследуемые физико-химические показатели в пробах воды прудов микрорайона «Чистые пруды» находятся в пределах нормы. Вода из исследуемых водных объектов подходит для использования в сельском хозяйстве, полива растений, разведения рыбы.

Библиографический список

1. Тарасова Т. Ф., Куприянова А. Н. Мониторинг экологического состояния поверхностных водных объектов Оренбургской области на примере реки Каргалка // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности : II Всерос. науч.-практ. конф. Оренбург : ИП Востриков К «Полиарт», 2020. С. 277–281.
2. Оценка состояния водных объектов методами биотестирования в зоне влияния промышленных предприятий (на примере Кирово-Чепецкого химического комбината) / А. С. Олькова, С. Г. Скугорева, Т. А. Адамович, Н. В. Вараксина, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 3. С. 46–52. doi: 10.25750/1995-4301-2011-3-046-052
3. Изучение особенностей химического состава водных объектов заповедной территории для использования в качестве регионального фона / Т. А. Адамович, С. Г. Скугорева, Е. В. Товстик, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 89–96. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-089-096
4. Петин А. Н., Лебедева М. Г., Крымская О. В. Анализ и оценка качества поверхностных вод. Белгород : БелГУ, 2006. 252 с.
5. Бурлакова М. С., Сысуева А. С., Тюкленкова Е. П. Экологический мониторинг водных объектов на территории микрорайона Арбеково города Пензы // Организация работы с молодежью. 2019. № 3. С. 6.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭКОСИСТЕМНЫЙ ОБМЕН ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ЕЛОВОМ НАСАЖДЕНИИ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

С. В. Загирова, М. Н. Мигловец
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, zagirova@ib.komisc.ru

В статье обсуждаются результаты измерений потоков диоксида углерода между еловым лесом и приземной атмосферой в течение четырех лет методом микровихревых пульсаций. Приведены сведения о межгодовой вариативности продолжительности периода активной вегетации, суммы температур и осадков, гидротермического коэффициента увлажнения и суммарного нетто-обмена диоксида углерода в этот период. Установлено влияние гидро-

термических условий на нетто-обмен CO_2 и gross-фотосинтез, скорость которых снижалась при сочетании повышенной температуры и дефицита влаги в атмосферном воздухе.

Ключевые слова: еловое насаждение, метод микровихревых пульсаций, диоксид углерода, нетто-обмен, gross-фотосинтез

Бореальные леса мира занимают 1135 Мга и характеризуются устойчивым стоком углерода $0,5 \text{ Пг С год}^{-1}$ [1]. Площадь бореальных лесов России составляет 95% лесопокрытой территории, среднее значение чистого углеродного баланса в лесных экосистемах европейской и азиатской части значительно различается и соответствует 47 и $143 \text{ г С/(м}^2 \text{ год)}$ [2]. Данные многолетних измерений вертикальных потоков углерода в лесных экосистемах разных климатических зон свидетельствуют о значительной межгодовой вариативности обмена CO_2 под влиянием погодных условий и биотических факторов [3]. Тепло и влага считаются лимитирующими факторами углеродного цикла в наземных экосистемах. В европейской части России с потеплением климата в последние десятилетия отмечали повышение стока атмосферного углерода в лесные экосистемы [4].

Цель настоящей работы состояла в оценке межгодовой вариативности экосистемного обмена CO_2 в период активной вегетации в ельнике средней тайги на территории Республики Коми по результатам измерений методом микровихревых пульсаций.

Исследования проводили на территории Ляльского лесозоологического стационара Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (подзона средней тайги, $62^\circ 16' 01.9''$ с.ш., $50^\circ 41' 04.5''$ в.д.). В пределах изучаемого лесного массива сформированы ельник черничный, ельник разнотравно-черничный, ельник чернично-сфагновый и хвойно-лиственный фитоценоз. Характеристика эколого-климатического комплекса, применяемого для измерений нетто-обмена CO_2 в экосистеме елового леса, представлена ранее в публикации [5]. Весенний переход от источника к стоку CO_2 в ельнике в некоторые годы отмечали в апреле, несмотря на низкую положительную температуру воздуха в дневное время. По мере повышения летней температуры и поступающей солнечной радиации скорость потока CO_2 между лесом и атмосферой усиливалась, достигая максимальных значений в июле. За четыре года наблюдений с 2019 по 2022 гг. продолжительность периода активной вегетации составила 117–132 дня, средняя скорость нетто-обмена менялась от $-0,3$ до $-0,7 \text{ мг CO}_2/(\text{м}^2 \text{ сек})$, суммарный нетто-обмен за сезон от 420 до $790 \text{ г CO}_2/\text{м}^2$. Снижение значений нетто-обмена CO_2 и gross-фотосинтеза в экосистеме елового леса отмечено при сочетании повышенной температуры и дефицита упругости водяного пара в атмосферном воздухе [6]. Возможно, в этих условиях снижалась устьичная проводимость для диоксида углерода, что приводило к уменьшению фотосинтеза древесных растений.

Библиографический список

1. A large and persistent carbon sink in the world's forests / Y. Pan, R. Birdsey., J. Fang, R. Houghton, P. Kauppi, W. Kurz, O. Phillips, A. Shvidenko, S. Lewis, J. Canadell, Ph. Ciais, R. Jackson, S. Pacala, A. D. McCuire, Sh. Piao, A. Rautiainen, S. Sitch, D. Hayes // Science. 2011. Vol. 333. P. 998–993.
2. Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Углеродный бюджет лесов России // Сибирский лесной журнал. 2014. № 1. С. 69–92.
3. Baldocchi D., Chu H., Reichstein M. Inter-annual variability of net and gross ecosystem carbon fluxes: A review // Agricultural and Forest Meteorology. 2018. Vol. 249. P. 520–533. doi: 10.1016/j.agrformet.2017.05.015
4. Acclimation of Russian forests to recent changes in climate / A. Lapenis, A. Shvidenko, D. Shepaschenko, S. Nilson, A. Aiyer // Global Change Biology. 2005. Vol. 11. P. 2090–2102.
5. Загирова С. В., Михайлов О. А., Елсаков В. В. Обмен диоксида углерода и влаги между ельником и атмосферой в весенне-летний период при разных погодных условиях // Сибирский экологический журнал. 2019. № 1. С. 55–70.
6. 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

ПАРЦЕЛЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ЛЕСНОГО БИОГЕОЦЕНОЗА МАНТУРОВСКОГО КЛАСТЕРА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СЕНИЦЫНА

М. С. Клеткина, А. Ю. Болотова, Э. В. Марамохин
Костромской государственный университет, kletkina.marina01@mail.ru

В статье даются некоторые сведения об особенностях парцеллярной структуры лесного биогеоценоза Мантуровского кластера ГПЗ «Кологривский лес» Костромской области, с использованием статистической обработки геоботанических описаний в программе EcoScaleWin и коэффициента видового сходства Жаккара.

Ключевые слова: парцелла, биогеоценоз, фитоценоз, геоботаническое описание, амплитудные шкалы, программа EcoScaleWin, индекс Жаккара.

Парцеллы – это структурные части горизонтального расчленения сообщества, обособленные друг от друга на всю вертикальную толщу сообщества (т. е. включающие не только растения, но и животных, почвы, особенности рельефа и вариации микроклимата). Парцеллы различаются между собой составом, структурой, свойствами компонентов (лесообразующих пород и растений нижних ярусов), распределением их по площади, количественными показателями. В тоже время между ними (компонентами) существует связь, главная роль в которой принадлежит эдификаторам, т. е. тем видам и ярусам, которые обладают самыми сильными средообразующими свойствами. Иногда парцеллы хорошо разграничиваются по составу и строению подстилки. Переходы между смежными участками разных парцелл могут быть как очень

быстрыми и резкими (почти линейными) на всех высотных уровнях биогеоценоза, так и очень постепенными, как бы размытыми (в виде полос). Это зависит от контрастности доминирующих на участках смежных парцелл жизненных форм растений, или от возрастных различий эдификаторов. Изучение растений, которые образуют парцеллы, а в особенности, имеющие эдификаторную роль имеет большое значение в изучении закономерностей функционирования и изменения лесных биогеоценозов, что делает эти исследования актуальными [1, 2].

Геоботанические исследования проводили в полевой сезон 2022 г. на Мантуровском кластере Государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына с заложением двух площадок по 20 м² каждая. В целом на исследуемой территории преобладает сосново-мелколиственный лес. При изучении лесного биогеоценоза были обнаружены две парцеллы – осиновая парцелла и сосняк-брусничник (сосновый бор) [3].

Покрытие и степень участия для каждого вида растений, определялось по шкале Браун-Бланке [4] Все данные по обилию видов были внесены в программу EcoScaleWin, где в дальнейшем выполнялась обработка по амплитудной шкале Цыганова (Тм – термоклиматическая шкала, Кп – шкала континентальности климата, Ом – омброклиматическая шкала аридности – гумидности, Ср – криоклиматическая шкала, Hd – шкала увлажнения почв, Tr – шкала солевого режима почв, Nt – шкала богатства почв азотом, Rc – шкала кислотности почв, Lc – шкала освещенности – затенения, fH – шкала переменности увлажнения), а также по точечной шкале и Э. Ландольта (F – шкала увлажнения почвы, R – шкала кислотности почвы, N – шкала богатства почвы элементами минерального питания, H – шкала гумусированности почвы, D – шкала гранулометрического состава почвы (дефицита аэрации), L – шкала светолюбия, T – шкала температуры, K – шкала континентальности). Данные обрабатывались по методу средневзвешенной середины интервала [5].

На изучаемых площадках выполнен замер уровня освещенности люксметром Ю 116 с фотоэлементом Ф 55С.

Для установления степени флористического сходства осиновой парцеллы с парцеллой представленной сосняком-брусничником был использован индекс Жаккара рассчитанный по формуле [6]:

$$J = \frac{N(A+B)}{N(A) + N(B) - N(A+B)},$$

где N(A) – число видов, входящих в сообщество A; N(B) – число видов, входящих в сообщество B; N(A+B) – число видов, общих для сообществ A и B.

По результатам исследования маршрутным методом установлено, что в осиновой парцелле отмечено преобладание *Populus tremula* L. над *Pinus sylvestris* L., а на площадке с парцеллой представленной сосняком-брусничником преобладает соответственно *P. sylvestris*, и *Vaccinium vitis-idaea* L. В данном случае *P. tremula* в осиновой парцелле и *P. sylvestris* в сосняке-

брусничнике являются видами эдификаторами преобразующими среду обитания.

Обработанные данные по геоботаническим описаниям парцелл были сведены в гистограмму (рис.).

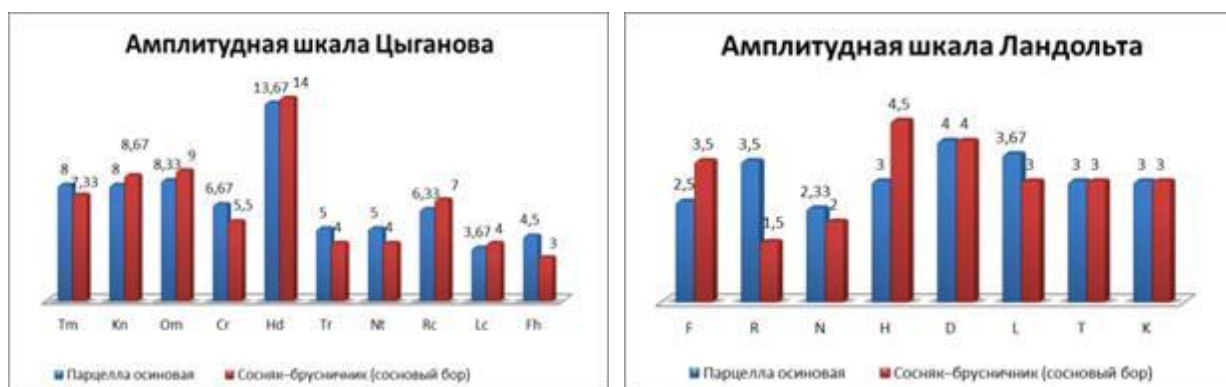


Рис. Сравнительный анализ статистической обработки в программе EcoScaleWin геоботанических описаний осиновой парцеллы с участками сосняка-брусничника

Исходя из данных гистограмм, проведено сравнение двух геоботанических площадок по экологическим параметрам. Стоит обратить внимание на шкалу Э. Ландольта, поскольку растения находятся в примерно одинаковых условиях. Отмечаются бедные минеральным питанием кислые почвы, по гранулометрическому составу относящиеся к тонкопесчаным, пылеватым, более или менее вентилируемым. Растения в границе парцелл способны произрастать в условиях затенения. Уровень освещенности исследуемых участков составляет 7000–7700 Лк.

Однако отмечены различия по условиям увлажнения. Так для осиновой парцеллы этот показатель составляет 2,5 (умеренная сухость – средние условия увлажнения), а для сосняка – брусничника 3,5 (среднее увлажнение – хорошее увлажнение), что характерно как для образования осиновой парцеллы так и для существования сосняка – брусничника. По амплитудной шкале Д. Н. Цыганова исследуемые площадки имеют сходство по шкалам кислотности почв, освещенности, континентальности климата. Растения растут на слабокислых почвах и в светлых местах.

В целом можно отметить высокую схожесть парцелл по многим параметрам, как по амплитудной, так и по точечной шкале, что исключает влияние факторов среды на разнородность данного биогеоценоза. Однако это говорит о том, что в основе появления и формирования парцелл в изучаемом сосново-мелколиственном биогеоценозе лежит незавершенность сукцессионной серии, после пожара на этой территории в 70-х годах XX века. Данный факт определяет мозаичность биогеоценоза по древесным породам, которые в свою очередь проявляют эдификаторные свойства, изменяя среду обитания.

Были также обработаны данные сходства флористического состава по коэффициенту Жаккара между исследуемыми площадками. Статистические данные обработки представлены в таблице.

Сходство флористического состава по коэффициенту Жаккара

Геоботанические площадки	Коэффициент Жаккара	Общие виды
Парцелла осиновая – сосняк-брусничник	0,103	<i>P. sylvestris</i> , <i>V. vitis-idaea</i> , <i>Betula pendula</i> Roth., <i>Sorbus aucuparia</i> L.

Флористический состав на геоботанических площадках с парцеллой осиновой и сосняком-брусничником разнороден, что отражает индекс Жаккара (чем меньше числовое значение, тем меньше одинаковых видов между сравниваемыми территориями). Это в полной мере соотносится с тем, что парцеллы преимущественно образованы эдификаторными видами которые имеют свои флористические свиты. При исследовании парцеллы осиновой было обнаружено преобладание в А ярусе *P. tremula* над *P. sylvestris* в соотношении 70% к 30%. А в сосняке-брусничнике в А ярусе выявлено 100% господство *P. sylvestris*.

Таким образом, можно сделать вывод, что в целом по амплитудной шкале Д. Н. Цыганова и точечной шкале Э. Ландольда можно отметить высокую схожесть изучаемых парцелл по многим абиотическим и эдафическим параметрам, что исключает влияние факторов среды на разнородность данного биогеоценоза и указывает на незавершенность сукцессионной серии, после пожара, определяя мозаичность биогеоценоза. При этом флористический состав на геоботанических площадках с парцеллами разнороден, что отражает индекс Жаккара и указывает на эдификаторную роль преобладающих древесных растений.

Библиографический список

1. Работнов Т. А. Фитоценология : учебное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГУ, 1992. 352 с.
2. Смирнова О. В. Структура травяного покрова широколиственных лесов. М. : Наука, 1987. 208 с.
3. Сукачёв В. Н., Зонн С. В. Общие принципы и программа изучения типов леса // Методические указания к изучению типов леса. 2-е изд. М. : Изд-во АН СССР, 1961 С. 9–75.
4. Braun-Blanquet J. Plant Sociology (Transl. by G. D. Fuller and H. S. Conard), New York : McGraw-Hill Book Company, 1932.
5. Зубкова Е. В. Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с помощью программы EcoScailWin. Йошкар-Ола, 2008. 96 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. S. 241–272.

МАТЕРИАЛЫ К ФЛОРЕ ВЫСШИХ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КОЙГОРОДСКИЙ» (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

В. А. Канев

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

Получены первые данные о флоре высших сосудистых растений южной части национального парка «Койгородский», который в ботаническом отношении был не изучен. Выявлены новые местообитания редких видов растений в резервате и новые редкие виды растений, которые здесь не встречались, охраняемых на федеральном и республиканском уровнях.

Ключевые слова: национальный парк, биоразнообразие, сосудистые растения, охраняемые растения, Красная книга.

Сегодня во всем мире признано, что максимально эффективный способ сохранения природных комплексов – создание систем особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В Республике Коми с конца 1950-х гг. ведутся систематические исследования по вопросу формирования природно-заповедного фонда. Исследование и мониторинг биоты 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 234 ООПТ, четыре из которых – Печоро-Илычский государственный природный биосферный заповедник, национальный парк «Югыд ва», национальный парк «Койгородский», государственный природный заказник «Параськины озера» имеют федеральный статус, остальные – региональное (республиканское) подчинение. Общая площадь природно-заповедного фонда составляет свыше 5,4 млн га, что составляет 13% от площади Республики [1, 2].

Национальный парк «Койгородский» утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 07.12.2019 г. Площадь – 56,7 тыс. га. Леса национального парка, расположенного в Койгородском и Прилузском районах Республики Коми в полосе экотона средней и южной подзон тайги, и примыкающие к границам заповедника «Нургуш», расположенного на севере Кировской области, являются самым крупным не затронутым деятельностью человека массивом девственных южнотаежных лесов в Европе, развивающихся в режиме естественной динамики [1].

Резерват находится в восточной части Восточно-Европейской равнины, на водоразделе крупнейших рек Европы – Волги (бассейн Каспийского моря)

и Северной Двины (бассейн Белого моря). Его юго-западная граница совпадает с административной границей региона и Кировской области. Рельеф на большей части резервата формируют отроги Северных Увалов. Это повышенная денудационно-аккумулятивная полого-холмистая равнина, расчлененная истоками рек. Отметки абсолютных высот составляют 200 до 220 (240) м.

Согласно ботанико-географическому районированию данный регион относится к Камско-Печорско-Западноуральской подпровинции Восточно-Европейской равнинной таежной провинции Евразийской таежной области [2]. Преобладающий тип растительности на территории национального парка – леса; лесистость территории составляет порядка 98%.

Сведения о биологическом разнообразии национального парка «Койгородский» на момент его учреждения были отрывочными. Данные о видовом разнообразии растительного мира отсутствовали. В литературе можно найти лишь сведения о разнообразии сосудистых растений и лишайников на сопредельных территориях южных районов Республики Коми. Самые близкие территории, где проводились ботанические исследования, – бассейн р. Летка, окрестности дер. Кобра и с. Койгородок [3]. В Кировской области на границе с национальным парком «Койгородский» расположен кластер «Тулашор» (площадь 17 815 га) государственного природного заповедника «Нургуш».

С 2021 г. специалисты ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН начали планомерную инвентаризацию флор, лишено-и микобиот на его территории. Первые исследования проведены были в основном в северной части резервата и получены первые результаты о биоразнообразии парка [4, 5].

Изучение флоры высших сосудистых растений было проведено в июне и августе 2022 г. в окрестностях кордона «Грань», расположенный в северной части национального парка в верхнем течении реки Мытец (бассейн р. Вятка). Изучение флоры сосудистых растений на ключевых участках выполняли с использованием стандартных подходов к исследованию локальных флор маршрутным методом с обследованием всех встречающихся местообитаний и типов растительности (лесная, болотная, кустарниковая, травяная). Протяженность радиальных маршрутов составляла до 3–4 км. Списки видового состава документированы гербарными сборами, хранящимися в УНУ Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO). Для всех гербарных образцов, а также находок редких видов с помощью GPS-навигаторов проведено определение географических координат в системе WGN 84. Определение растений выполнено с использованием монографии «Флора Северо-Востока европейской части СССР» [6]. Латинские названия растений приведены по сводке С. К. Черепанова [7].

Флора высших споровых сосудистых, голосеменных и цветковых растений южной части резервата после проведения первых исследований насчитывает 271 вид, относящихся к 169 родам и 68 семействам. Были найдены новые 30 видов растений для территории национального парка, которые ранее не были обнаружены – *Rhizomatopteris montana* (Lam.) A. Khokhr., *Huperzia*

selago (L.) Bernh. ex Schrank et C. Mart., *Scheuchzeria palustris* L., *Epipogium aphyllum* Sw., *Chelidonium majus* L., *Impatiens noli-tangere* L., *Thyselium palustre* (L.) Rafin., *Ajuga reptans* L., *Hypopitys monotropa* Crantz и др. С учетом новых находок в 2022 г., флора национального парка насчитывает 300 видов высших споровых сосудистых, голосеменных и цветковых растений, относящихся к 180 родам и 71 семействам.

К споровым растениям, которые представлены папоротниками, хвощами, плаунами, относится 17 видов (6,3%). Восемь из них принадлежат к папоротниковидным: *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod., *Diplazium sibiricum* (Turcz. ex G. Kunze) Kurata, *Botrychium multifidum* (S. G. Gmel.) Rupr. Почти все виды папоротников встречаются в лесных растительных сообществах, где могут достигать небольшого обилия. Разнообразие хвощевидных и плауновидных немного меньше (пять и четыре вида соответственно). Хвощи с высоким постоянством и обилием встречаются в различных фитоценозах: в лесах – *Equisetum sylvaticum* L., на лугах вдоль реки Суран и открытых местах – *Equisetum arvense* L., *Equisetum pratense* Ehrh.; образуют небольшие заросли по берегам водоемов и водотоков, на низинных болотах в заболоченной долине реки Суран – *Equisetum fluviatile* L. и *Equisetum palustre* L. Плауновидные: *Diphasiastrum complanatum* (L.) Holub, *Lycopodium annotinum* L., *Lycopodium clavatum* L., *Huperzia selago* – встречаются только в лесных сообществах и имеют небольшое обилие. Четыре вида принадлежат к голосеменным растениям, которые представлены хвойными: *Abies sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sylvestris* L., *Juniperus communis* L. Только два из перечисленных видов хвойных (*Picea obovata*, *Pinus sylvestris*) принадлежат к числу эдификаторов лесных сообществ и образуют соответственно еловые и сосновые хвойные леса, которые занимают основную площадь данной территории.

Остальные виды (220) относятся к покрытосеменным или цветковым растениям, из которых 78 – однодольные, а 172 – двудольные. Соотношение однодольных и двудольных составляет 1:2,2. Однодольные растения представлены Sparganiaceae, Potamogetonaceae, Scheuchzeriaceae, Alismataceae, Butomaceae, Poaceae, Cyperaceae, Araceae, Lemnaceae, Juncaceae, Melanthiaceae, Trilliaceae, Convallariaceae, Orchidaceae. Виды двудольных растений принадлежат к семействам Salicaceae, Betulaceae, Urticaceae, Polygonaceae, Caryophyllaceae, Aristolochiaceae, Nymphaeaceae, Ceratophyllaceae, Ranunculaceae, Papaveraceae, Brassicaceae, Crassulaceae, Saxifragaceae, Parnassiaceae, Grossulariaceae, Rosaceae, Fabaceae, Geraniaceae, Oxalidaceae, Callitrichaceae, Empetraceae, Balsaminaceae, Tiliaceae, Hypericaceae, Violaceae, Thymelaeaceae, Onagraceae, Apiaceae, Cornaceae, Pyrolaceae, Monotropaceae, Ericaceae, Primulaceae, Menyanthaceae, Boraginaceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae, Plantaginaceae, Rubiaceae, Caprifoliaceae, Adoxaceae, Valerianaceae, Campanulaceae, Asteraceae.

Наибольшим числом видов отличаются семейства Poaceae (30), Cyperaceae (27), Asteraceae (20), Ranunculaceae (15), Rosaceae (14), Salicaceae (12), Caryophyllaceae (9), Apiaceae (8), Ericaceae (8), Labiatae (7) и Scrophullari-

асеае (7). Остальные семейства насчитывают от шести до одного вида. 10 ведущих семейств включают 57,9% видов всей флоры.

Среди родов наибольшим числом видов представлен род *Carex* (23). Второе место по численности занимает род *Salix* (11). Заметным разнообразием видов также отличаются роды *Stellaria*, *Equisetum*, *Rubus*, *Poa* (по 5), *Calamagrostis*, *Viola*, *Galium*, *Cirsium* (по 4). Остальные роды включают от 1 до 3 видов. Родовая насыщенность составляет 1,6; родовой коэффициент – 62,3%.

Растения, произрастающие в южной части национального парка «Койгородский», относятся к разным географическим элементам. Географический анализ флоры по составу широтных групп показал преобладание бореальных видов, которые составляют почти две трети выявленных сосудистых растений – 202 вида или 73%. В числе бореальных видов есть такие эдификаторы и доминанты растительных сообществ, как *Abies sibirica*, *Picea obovata*, *Carex vaginata* Tausch, *Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin., *Aconitum septentrionale* Koelle, *Crepis sibirica* L. Намного меньше видов – 20 или 7,4% от общего числа зарегистрированных таксонов, принадлежит к северным широтным группам: аркто-альпийской и гипоарктической. Арктические виды, характерные для тундровой зоны, в изученной флоре отсутствуют. Аркто-альпийских видов два или 0,7%: *Bistorta vivipara* (L.) S. F. Gray и *Alchemilla murbeckiana* Bus. Гипоарктических видов отмечено 16 или 5,9%: *Avenella flexuosa* (L.) Drejer, *Carex paupercula* Michx., *Eriophorum polystachion* L., *Stellaria crassifolia* Ehrh., *Rubus chamaemorus* L. и др.

Суммарное участие южных широтных групп, которые представлены неморальными, неморально-бореальными и лесостепными видами, составило 10%. Неморальных видов тринадцать или 4,8%. Среди них: *Asarum europaeum* L., *Stellaria holostea* L., *Actaea spicata* L., *Ajuga reptans* L., *Pulmonaria obscura* Dumort., *Lonicera xylosteum* L. Неморально-бореальных видов – 14 или 5,2%: *Impatiens noli-tangere* L., *Lamium album* L., *Veronica chamaedrys* L. и др. Таксоны данной широтной группы, как и неморальные виды, произрастают в пойменных смешанных лесах разнотравных, в экотопах с относительно богатыми почвами. Довольно большое число видов (27 или 10%) имеет полизональное распространение: *Callitriche cophocarpa* Sendtner, *Rorippa palustris* (L.) Bess., *Nuphar lutea* (L.) Smith и др. Ареалы таксонов данной группы располагаются в нескольких природных зонах; на территории национального парка они произрастают в различных местообитаниях: на лугах, по берегам рек и других водоемов, на нарушенных территориях.

Среди долготных элементов преобладают виды групп с широкими голарктическими – *Carex pauciflora* Lightf., *Pyrola rotundifolia* L. и др. и евразийскими – *Carex juncella* (Fries) Th. Fries, *Circaea alpina* L. и др. – ареалами; их доли составляют соответственно 35,2 и 41,1% от общего числа видов. Это типично для флоры таежной зоны Голарктики. К азиатским относятся 14 видов или 5,2%: *Calamagrostis purpurea*, *Cacalia hastata* L. и др. Европейских видов: *Thyselium palustre* (L.) Rafin., *Cirsium palustre* (L.) Scop. и др., почти в три раза

больше, чем азиатских – 44 или 16,3% от общего числа таксонов. Космополитных видов семь (2,6 %): *Lemna minor* L., *Lemna trisulca* L. и др.

В 2022 г. в южной части парка выявлены новые местообитания редких семи видов, как ранее уже известных для территории резервата: *Cinna latifolia* (Trev.) Griseb., *Anemonoides ranunculoides* (L.) Holub, *Thalictrum aquilegifolium* L., *Tilia cordata* Mill., *Viola selkirkii* Purs ex Goldie, так и новых видов: *Epipogium aphyllum*, *Hypopitys monotropa*, включенные в Красную Книгу Республики Коми [8]. Кроме того, зарегистрировано пять видов, включенных в приложение 1 к региональной Красной книге как таксоны, нуждающиеся в постоянном контроле численности: *Rhizomatopteris montana* (Lam.) A. Khokhr., *Platanthera bifolia* (L.) Rich., *Dactylorhiza maculata* (L.) Soo, *Dactylorhiza fuchsii* (Druce) Soo, *Viola mirabilis* L.

Флора высших сосудистых растений южной части национального парка «Койгородский» насчитывает 271 вид растений, относящихся к 169 родам и 68 семействам. В связи с тем, что территория национального парка находится на юге Республики Коми, в ней заметна доля представителей южных широтных групп: неморальной и неморально-бореальной. Все они являются реликтами климатического оптимума голоцена.

Собранные образцы растений и лишайников хранятся в УНУ «Научный гербарий Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO)».

Исследования проведены в ходе выполнения темы государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Оценка эколого-ценотического, видового и популяционного разнообразия растительного мира ключевых особо охраняемых природных территорий Республики Коми», № государственной регистрации 1021051101424-8-1.6.11;1.6.19;1.6.20.

Библиографический список

1. 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.
2. Татаринев А. Г., Кулакова О. И. Значение особо охраняемых природных территорий в сохранении видового разнообразия булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Papilionidea) Республики Коми // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 160–167. doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-160-167
3. Леса Республики Коми / под ред. Г. М. Козубов, А. И. Таскаев. М. : ДиК, 1999. 332 с.
4. Мартыненко В. А., Груздев Б. И., Канев В. А. Локальные флоры таежной зоны Республики Коми. Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2008. 76 с.
5. Rare species of plants and fungi in the “Koigorodskiy” National Park (Komi Republic, Russia) / S. V. Degteva, Y. A. Dubrovskii, M. V. Dulin, G. V. Zheleznova, V. A. Kanev, D. V. Kirillov, D. A. Kosolapov, D. I. Kudreavtzeva, M. A. Palamarchuk, T. N. Pystina, N. A. Semenov, T. P. Shubina // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 43–57. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-049-057
6. Канев В. А. Материалы к флоре высших сосудистых растений национального парка «Койгородский» (Республика Коми) // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ.

100-летию института и 150-летию со дня рождения основателя и первого директора института, профессора Бориса Михайловича Житкова. Киров, 2022. С. 587–593.

7. Флора Северо-Востока европейской части СССР. Л. : Наука, 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 (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и Семья, 1995. 992 с.

9. Красная книга Республики Коми: третье изд., официальное / под ред. С. В. Дегтева. Сыктывкар : ООО «Коми республиканская типография», 2019. 768 с.

***OENOTHERA SALICIFOLIA* DESF. EX G. DON В УСЛОВИЯХ СОРНО-БЫТОВОГО ЭКОТОПА г. МАКЕЕВКИ**

А. В. Калинина

Донецкий национальный университет, a.kalinina@donnu.ru

В статье представлены результаты исследования ценопопуляции адвентивного вида *Oenothera salicifolia* Desf. ex G. Don в условиях сорно-бытового экотопа г. Макеевки. Составлена фитоценотическая характеристика и выделены особенности онтогенетической структуры ценопопуляции.

Ключевые слова: сорно-бытовой полигон, адвентивный вид, онтогенетическая структура, *Oenothera salicifolia* Desf. ex G. Don, г. Макеевка.

В настоящее время возникает неотлагательная необходимость изучения и оптимизации трансформированных ландшафтов на фоне их увеличивающегося количества [1–10]. Одним из наиболее распространенных типов нарушенных экотопов в Донбассе являются сорно-бытовые полигоны. Они характеризуются трансформированным почвенным профилем, специфическим составом почв и их свойствами геохимических процессов [5]. Такие антропогенно-преобразованные участки являются источниками опасности для естественного биоразнообразия, что объясняется в том числе внедрением и натурализацией заносных видов [3, 6, 7].

Представители рода *Oenothera* встречаются в нарушенных местообитаниях Донбасса [3, 7]. Виды представляют научный интерес, т. к. обладают значительным инвазивным потенциалом, способностью к видообразованию и гибридизации [7]. В ранее выполненных исследованиях отмечено, что виды в условиях техногенных экотопов Донецко-Макеевской агломерации повышают свою адаптивную способность, что приводит к быстрой натурализации некоторых видов [3].

Цель работы – определить фитоценотическую характеристику и особенности онтогенетической структуры ценопопуляции адвентивного вида *Oenothera salicifolia* Desf. ex G. Don в условиях сорно-бытового экотопа г. Макеевки.

Изученная ценопопуляция *Oe. salicifolia* выявлена на участке сорно-бытового полигона в Горняцком районе Макеевки.

Исследование проводили по общепринятым методикам: составление и анализ геоботанических описаний, сбор и камеральная обработка гербария, фотографирование растительных объектов. На экспериментальном участке выделяли 15 учетных площадок (1 м²), для которых были выполнены геоботанические описания по стандартным методикам. При выделении онтогенетических групп и определении типов онтогенетических спектров использовали методику, предложенную А. А. Урановым [11].

Ценопопуляция занимает площадь около 60 м². Общее проективное покрытие участка составило около 40%. Доминантом является вид *Oe. salicifolia*, проективное покрытие которого около 30 %. На экспериментальном участке зарегистрировано 19 видов, относившихся к 17 родам и 10 семействам. Ведущими являлись семейство Астровых (Asteraceae) и семейство Мятликовых (Poaceae) (табл.).

Таблица

Таксономический спектр растительного покрова нарушенного экотопа

№ п/п	Семейство	Число видов	
		абс.	%
1	<i>Amaranthaceae</i>	1	5,26
2	<i>Asteraceae</i>	7	36,84
3	<i>Boraginaceae</i>	1	5,26
4	<i>Brassicaceae</i>	2	10,52
5	<i>Caryophyllaceae</i>	2	10,52
6	<i>Lamiaceae</i>	1	5,26
7	<i>Oleaceae</i>	1	5,26
8	<i>Oenothera</i>	1	5,26
9	<i>Poaceae</i>	3	15,78
10	<i>Rosaceae</i>	1	5,26

Исследованная ценопопуляция является полночленной, определена как нормальная. По критерию абсолютного максимума является унимодальной, максимум приходится на среднегенеративные растения. Доля возрастных состояний *Oe. salicifolia*: ювенильные особи (j) – 0,74%, имматурные особи (im) – 12,54%, виргинильные особи (v) – 5,17%, генеративные особи (g₁) – 11,8%, (g₂) – 60,50%, (g₃) – 9,25% (рис.). Доля прегенеративных растений от общего числа особей составляет 18,45%, доля генеративных растений – 81,55%.

Онтогенетический спектр ценопопуляции характеризуется наличием всех характерных для вида возрастных групп, что свидетельствует о приспособленности вида к условиям специфического экотопа г. Макеевки, а также его возможности к сосуществованию с другими видами. Небольшая доля прегенеративных возрастных состояний растений может быть связана с неоднородностью и крупной фракцией отходов, которые составляют основную массу субстрата экспериментального участка.

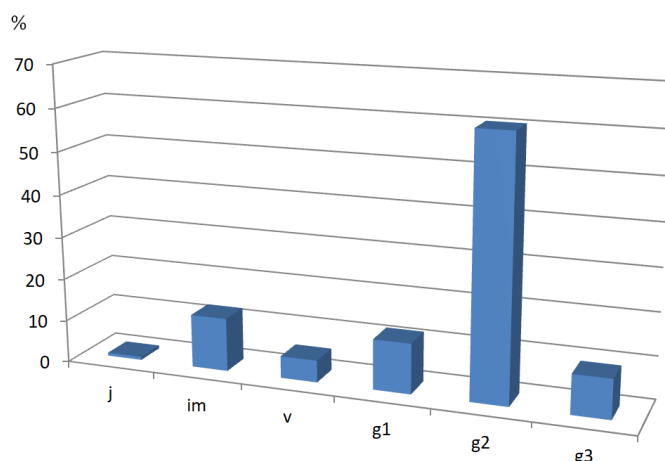


Рис. Онтогенетическая структура ценопопуляции *Oenothera salicifolia* Desf. ex G. Don в условиях нарушенного экотопа

Таким образом, выявленные закономерности ценопопуляции *Oe. salicifolia* являются показателем их адаптивности и определенной степени устойчивости вида к сложившимся условиям выживания в условиях сорно-бытового экотопа.

Библиографический список

1. Калинина А. В. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозаращения и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34.
2. Калинина А. В. Диагностика эдафотопов некоторых угольных шахт г. Макеевки методами фитотестирования // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 1–2. С. 6–9.
3. Калинина А. В. Состояние ценопопуляций видов рода *Oenothera* L. в трансформированных экотопах Донбасса // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 135–144. doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.12.
4. 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.
5. Сафонов А. И. Актуальный фитомониторинг в Донбассе // Охрана окружающей среды – основа безопасности страны : сб. статей по материалам Междунар. науч. конф. Краснодар : КубГАУ, 2022. С. 411–414.
6. 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 : ФГБОУ ВО «АГУ им. В. Н. Татищева», 2022. С. 154–156.
7. Тохтарь В. К. Изучение распространения видов рода *Oenothera* L. в модельных индустриальных регионах Европы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2012. № 3 (122). Вып. 18. С. 60–65.
8. Удод Я. А. Влияние факторов урбосистемы Донецко-Макеевской агломерации на качество семенного материала *Tragopogon major* L. // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. материалов XV Междунар. конф., Донецк, 2021. С. 249–251.

9. Хайрулина Е. А. Техногенная трансформация ландшафтно-геохимических процессов в районе добычи калийно-магниевых солей // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 41–45. doi: 10.25750/1995-4301-2014-3-041-045

10. Удод Я. А., Калинина А. В. Изменчивость морфологических признаков и виталитетная структура *Tragopogon major* L. в условиях урбосистемы Донецко-Макеевской агломерации // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «ДОННУ». 2021. Т. 1. № 13. С. 172–175.

11. Уранов А. А. Онтогенез и возрастной состав популяций // Онтогенез и возрастной состав популяций цветковых растений. М. : Наука, 1967. С. 3–8.

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ РАСТЕНИЙ В ДИАГНОСТИКЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ ДОНБАССА

А. И. Сафонов

Донецкий национальный университет, andrey_safonov@mail.ru

Доказано диагностическое значение частоты регистрации фитотератогенных проявлений в индикаторах природно-техногенных систем Донбасса. Выделенные структурно-функциональные аномалии являются следствием воздействия контрастной и геохимически агрессивной среды на техногенные экотопы. Констатируемы факты морфогенетических вариаций и патологии фитоструктур при локализации в генеративных и вегетативных органах индикаторных видов эндемичных геохимических провинций.

Ключевые слова: фитоиндикация, тератогенез растений, Донбасс, экологический мониторинг.

Технология учёта патологических проявлений в биоиндикации является доказательным способом реализации эксперимента в условиях разных воздействий, которые в совокупности рассматриваются в качестве факторов загрязнения среды [1–3] или отдельных способов антропогенного влияния [2, 4, 5]. Цель работы – описание (констатация, регистрация) морфологических особенностей при выявлении аномалий растений в условиях специфического стресса локальных экотопов в Донбассе.

Данные с нулевыми значениями (более 90% от всего объема выборки) в поиске аномальных структур [6] информативны для тематического направления в градиенте токсической нагрузки или при составлении специальных шкал адаптивной пластичности растений [7–10] в условиях промышленного региона [9, 11–13], – не являются целевым объектом анализируемого материала. Результирующая часть актуальной работы – констатация фактов структурных аномалий в генеративном и вегетативном аппаратах растений, используемых в индикационных целях фитомониторингового назначения в Донбассе. Проведение детальных физиолого-биохимических исследований на современном этапе не представляется технически возможным и во многом

целесообразным, однако существенное расширение диапазона анализируемых элементов непосредственно в фитомассе генеративных и вегетативных органов и одновременный поиск открытых (ландшафтных) контрастных геохимических аномалий позволяют определенным образом выделить некоторые закономерности при идентификации морфотипических патологий.

Для регистрации аномалий было сформировано рабочее требование: встречаемость не меньше, чем у трех особей в одном локалитете и повторение в каждом вегетационном сезоне с 2019 по 2022 гг., поэтому в сложившихся обстоятельствах аномалии предположительно рассмотрены как эндемичные сверхструктурные проявления специфического воздействия доминирующего фактора геохимической природы в техногенных условиях промышленного региона.

В полевых исследованиях по установлению структурно-функциональной гетерогенности растений техногенные экотопы ранжированы в порядке убывания токсичности импакта: от металлургических и коксохимических предприятий, через объекты горнодобывающего и перерабатывающего комплексов, а также рудеральные полигоны к урбанизированным ландшафтам и селитебным территориям в Донбассе.

Дифференцировать характер моноэлементного загрязнения в участках специфической геохимической активности по результатам полевых исследований и камеральных морфоструктурных квантификаций представляется возможным для 22 локалитетов из 308 учётных площадок в эмпирическом обобщении нескольких путей тератогенеза изученных видов растений:

– варианты нарушения побегообразования, фасциации и характер опущения листовой пластинки и поверхностей органов, по-видимому, больше связаны с запыленностью воздуха (например, для геохимической провинции Cu-Sb-La (48°01'10,2"N; 37°47'26,3"E) – петалоидное превращение листьев *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., дистопия листорасположения и изменение характера ветвления *Polygonum aviculare* L.; Tb-U (48°01'22,9"N; 37°48'50,3"E) – специализация трихом ретортообразного типа и полимеризация листьев *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., нетипичная пролификация спорофита *Bryum caespiticiu* Hedw.; Nd-Zr (48°00'34,2"N; 37°47'22,4"E) – ложное ветвление соцветий (расщепление) *Sisymbrium polymorphum* (Murray) Roth; гипергенезия листьев *Plantago lanceolata* L.; Co-Sb-La (47°59'49,2"N; 37°47'52,4"E) – тератные пыльцевые зёрна и фасциации осей соцветия *Dactylis glomerata* L., фасциация побегов *Centaurea diffusa* Lam.; Hg-Sb-Cd (48°04'05,9"N; 38°15'09,1"E) – пролификация цветков и соцветий *Plantago major*, пролификация соцветий *Moehringia trinervia* (L.) Clairv.; Cu-Sr-W (48°01'24,0"N; 38°10'15,8"E) – хориза органов цветка и нарушение характера ветвления побега *Tanacetum vulgare* L., фасциации осей гаметофита *Brachythecium campestre* (Müll.Hal.) Bruch et al.; Pb (48°00'35,7"N; 37°48'00,1"E) – фасциации осей соцветий и матрикальная гетерокарпия *Senecio vulgaris* L., пролификация цветков и соцветий *Plantago major* L.; Zn-U (48°00'35,5"N; 37°48'56,2"E) – складчатость и деформация листовой пластин-

ки *Berteroa incana* (L.) DC.; Fe-Hf (48°02'56,6"N; 38°28'28,8"E) – олигомеризация листовой пластинки *Sagina procumbens* L.; пролификация цветка *Nigella arvensis* L.; Hg-Eu (47°59'47,1"N; 37°48'32,0"E) – дистопия и деформация побега *Atriplex patula* L.; Al-Yb-Th-Ce (47°59'32,8"N; 37°47'46,6"E) – пролификация цветков, специализация трихом нитчатого типа *Cichorium intybus* L.; Cu-Yb (48°01'17,0"N; 38°38'29,2"E) – фасциации листовых пластинок *Portulaca oleracea* L., дистопия гаметофита *Chamberlainia salebrosa* (Hoffm. ex F. Weber & D. Mohr) H. Rob.; Hg-Sc-Zr (48°02'18,9"N; 38°46'02,3"E) – дистопия листового расположения *Alsine media* L., гипогенезия побега *Chelidonium majus* L.) – наблюдается сочетанное воздействие факторов токсической природы и механического нарушения микроструктур преимущественно в точках меристематической активности;

– примеры гипер- и гипогенезии являются результатом хронического взаимодействия растений со специфически агрессивным субстратом посредством долгосрочных физиологических преобразований (геохимическая провинция монодоминантного загрязнения Rb (48°01'22,1"N; 37°48'03,1"E) – укорочение оси при скученности соцветий *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub; гипогенезия и фасциация побегов *Diplotaxis muralis* (L.) DC., дистопия листового расположения *Galinsoga parviflora* Cav., фасциации осей спорофита *Campylopus pulvinatus* (Hedw.) Brid.; Ni-Ta (48°00'10,3"N; 37°47'34,0"E) – гипогенезия побега *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, скручивание и изгиб стебля, тератологическая схизокотилия *Reseda lutea* L., гипогенезия листа *Didymodon purpureus* (Hedw.) Hook. & Taylor; Fe-Cs (48°02'28,5"N; 38°06'53,0"E) – гипергенезия листьев и гипогенезия побега *Glaucium corniculatum* (L.) Rudolph; Ni-Sm (48°01'55,3"N; 37°53'45,7"E) – полимеризация побега *Amaranthus retroflexus* L.) – такие проявления и новообразования адекватно использовать в целевых программах полевой экспресс-диагностики состояния экотопов, подтверждены как соматические в результате повторного проведения экспериментов с 2019 по 2022 гг.;

– нарушения в строении элементов диссеминации фрагментарно могут быть результатом острых воздействий подвижных токсичных элементов из почвенного раствора или с выпадением осадков (Ti-Sb (48°04'27,9"N; 37°58'27,6"E) – тератологическая синкотилия *Atriplex mircantha* C. A. Mey., складчатость листовой пластинки *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem, пролификация цветков *Convolvulus arvensis* L.; Dy-Yb-Cd (48°01'36,2"N; 38°15'39,7"E) – дистопия элементов гаметофита в общей архитектонике прироста *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid, хориза различных частей цветка *Chenopodium album* L., фасциации осей соцветия *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen.; Co-Eu (48°03'00,7"N; 38°09'56,1"E) – тератологическая схизокотилия *C. intybus*; матрикальная гетероспермия *Gipsophila paniculata* L., изменение характерной формы листовой пластинки *Cirsium arvense* (L.) Scop.; Ni (48°00'49,5"N; 38°16'15,8"E) – тератологическая синкотилия *Dianthus campestris* M. Bieb, ложное ветвление соцветий, габитуальные тераты *C. intybus*; Cs-Ce-Zr-Zn

(47°59'56,1"N; 37°58'25,5"E) – матрикальная гетерокарпия *Stellaria subulata* Boeber ex Schlecht., петалоидное превращение листьев *S. polymorphum*.

Диагностируемые соматические новообразования и аномалии в строении растений, безусловно, связаны с процессами нарушения роста и развития посредством реализации разных сценариев проявления уязвимости или реакционной способности меристем при дальнейшей специализации тотипотентных клеток в специфические гистологические структуры, что в итоге отражается на морфологическом уровне в строении растений.

В современных реалиях существования Центрального Донбасса по состоянию на октябрь 2022 г., начиная с мая 2014 г., проводимый фитоиндикационный мониторинг является единственным полномасштабным и непрерывным экспериментом диагностического характера с привлечением специализированных лабораторий в Донецком экономическом регионе.

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

Библиографический список

1. Cherednichenko O., Pilyugina A., Nuraliev S. Chapter 10 – Cytogenetical bioindication of pesticidal contamination // Pesticides in the Natural Environment Sources, Health Risks, and Remediation. 2022. P. 227–260. doi: 10.1016/B978-0-323-90489-6.00010-0
2. A new indicator approach to reconstruct agricultural land use in Europe from sedimentary pollen assemblages / M. Deza-Araujo, C. Morales-Molino, M. Conedera, P. D. Henne, P. Krebs, M. Hinz, C. Heitz, A. Hafner, W. Tinner // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2022. Vol. 599. doi: 10.1016/j.palaeo.2022.111051
3. Species-based indicators to assess habitat degradation: Comparing the conceptual, methodological, and ecological relationships between hemeroby and naturalness values / L. Erdos, A. Bede-Fazekas, Z. Batori, C. Berg, G. Kroel-Dulay, M. Magnes, P. Sengl // Ecological Indicators. 2022. Vol. 136. doi: 10.1016/j.ecolind.2022.108707
4. Chapter 14 – Biomonitoring tools and bioprogramming: An overview / P. Madheshiya, G. S. Gupta, A. Sahoo, S. Tiwari // New Paradigms in Environmental Biomonitoring Using Plants. 2022. P. 341–366. doi: 10.1016/B978-0-12-824351-0.00015-8
5. Pogányová A., Kerekeš E., Mičieta K. The ecogenotoxic plant biomonitoring of a long-term polluted area in central Slovakia // Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 24. No. 35. P. 27376–27383. doi: 10.1007/s11356-017-0353-z
6. Сафонов А. И. Тератогенез растений-индикаторов промышленного Донбасса // Разнообразие растительного мира. 2019. № 1 (1). С. 4–16. doi: 10.22281/2686-9713-2019-1-4-16
7. Алемасова А. С., Сафонов А. И. Тяжелые металлы в фитосубстратах – индикаторы антропогенного загрязнения воздуха в промышленном регионе // Лесной вестник (Forestry Bulletin). 2022. Т. 26. № 6. С. 5–13. doi: 10.18698/2542-1468-2022-6-5-13
8. Safonov A. Ecological scales of indicator plants in an industrial region // BIO Web Conf. 2022. Vol. 43. doi: 10.1051/bioconf/20224303002
9. Сафонов А. И. Фитомониторинг в решении экологических проблем степной зоны Восточной Европы // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 26–27 апреля 2022 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 62–65.

10. Bepalova S. V. Conceptual approaches to standardization in system of environmental biomonitoring // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2013. № 1. С. 8–15.

11. Сафонов А. И. Функциональная значимость меристем растений-индикаторов в биодиагностике природных сред // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 25 ноября 2021 г.). Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 10–13.

12. Мирненко Н. С. Жизнеспособность пыльцы некоторых видов древесных растений Донецкой агломерации // Лесной вестник (Forestry Bulletin). 2022. Т. 26. № 6. С. 55–61. doi: 10.18698/2542-1468-2022-6-55-61

13. Калинина А. В. Состояние ценопопуляций видов рода *Oenothera* L. в трансформированных экотопах Донбасса // Лесохозяйственная информация. 2022. № 3. С. 135–144. doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2022.3.12

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЛУГОВЫХ АССОЦИАЦИЙ ПОЙМЫ Р. БЕСЕДЬ ВЕТКОВСКОГО РАЙОНА ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев

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

В статье приводятся результаты мониторинга содержания ^{137}Cs в луговых ассоциациях поймы р. Беседь в 2018–2022 гг. Выявлено, что наибольшей удельной активностью характеризовалась ассоциация *Caricetum gracilis*, а наименьшей – *Deschampsio-Poetum palustris*. Наибольшая удельная активность ^{137}Cs в надземной фитомассе наблюдалась также в ассоциации *Caricetum gracilis*, а наименьшая – в ассоциации *Deschampsio-Poetum palustris*.

Ключевые слова: ^{137}Cs , луговая ассоциация, пойма р. Беседь, удельная активность.

Одним из негативных последствий катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) продолжает оставаться радиоактивное загрязнение пойменных лугов [1]. Пойменные луга являются наиболее ценными естественными кормовыми угодьями. Значительные площади их имеются в Белорусском Полесье. Несмотря на то, что после катастрофы прошло более 30 лет, вопросы изучения радиоактивного загрязнения поймы р. Беседь цезием-137 остаются актуальными [2].

Материалом для исследования являлись почвенные пробы и растительные образцы надземной фитомассы, отобранные в вегетационный период 2018–2022 гг. в фазу колошения видов-доминантов изучаемых четырех луговых ассоциаций поймы р. Беседь Ветковского района Гомельской области.

Содержание ^{137}Cs в почвенных и растительных образцах определяли на гамма-спектрометрическом комплексе Tennelec по МВИ. МН 3421-2010.

Флористический состав изучали по методу А. А. Корчагина [3], одновременно с геоботаническим описанием травостоев луговых экосистем [4–7]. Латинские названия видов высших растений даны по определителю [8]. Классификация луговых экосистем выполнена на основе эколого-флористических критериев по методу Браун-Бланке [9].

Удельная активность – это содержание радионуклида в единице массы Бк/кг; коэффициент накопления (КН) характеризует отношение содержания радионуклида в единице массы растения к содержанию радионуклида в единице массы почвы, Бк/кг : Бк/кг.

В связи с Республиканскими нормативами содержание радиоцезия в сене для получения чистого молока цельного не должно превышать 1300 Бк/кг.

Ниже приводится характеристика изучаемых луговых ассоциаций поймы р. Беседь.

Объект № 1. Межгивное понижение правобережной центральной поймы. Ассоциация *Caricetum gracilis*, вариант *Glyceria maxima*. Диагностический вид (Д.в.) варианта – *Glyceria maxima*; прочие виды: *Agrostis stolonifera*, *Glyceria fluitans*, *Ranunculus flammula*, *Stellaria palustris*, *Galium palustre*, *Phalaroides arundinacea*, *Iris pseudacorus*. Общее проективное покрытие 60–70%. Почва дерново-глебоватая, суглинистая.

Объект № 2. Повышенная равнина правобережной центральной поймы. Ассоциация *Deschampsietum cespitosae*, субассоциация *Poetosum palustris*, вариант *Leontodon autumnalis*. Д.в. ассоциации – *Deschampsia cespitosa*; Д.в. субассоциации – *Poa palustris*, *Alopecurus pratensis*, *Ranunculus repens*; Д.в. варианта – *Leontodon autumnalis*, *Cnidium dubium*, *Trifolium repens*, *Thalictrum lucidum*, *Coronaria flos-cuculi*, *Lysimachia nummularia*, *Mentha arvensis*, *Stellaria palustris*, *Veronica chamaedrys*. Д.в. класса *Molinio-Arrhenatheretea* – *Vicia cracca*, *Festuca pratensis*; Д.в. союза *Agropyro-Rumicion crispae* – *Potentilla anserina*. Д.в. союза *Corynephorion canescentis* – *Agrostis canina*. Прочие виды: *Rumex thyrsiflorus*, *Gallium rubioides*, *Beckmannia ruciformis*, *Ranunculus auricomus*. Общее проективное покрытие 80 %. Почва дерново-глебоватая, супесчаная.

Объект № 3. Повышенная равнина правобережной прирусловой поймы. Ассоциация *Deschampsio-Festucetum rubrae*. Д.в. ассоциации – *Festuca rubra*, *Deschampsia cespitosae*. Д.в. союза *Cynosurion* – *Trifolium repens*, *Cynosurus cristatus*. Д.в. класса *Molinio-Arrhenatheretea* – *Ranunculus acris*, *Trifolium pratense*, *Achillea millefolium*, *Plantago lanceolata*, *Rhinanthus minor*, *Centaurea jacea*. Д.в. порядка *Molinietales* – *Filipendula ulmaria*, *Galium uliginosum*, *Coronaria flos-cuculi*. Д.в. союза *Molinion* – *Cnidium dubium*. Д.в. союза *Agropyro-Rumicion crispae* – *Leontodon autumnalis*, *Potentilla anserina*, *Ranunculus repens*. Д.в. класса *Festuco-Brometea* – *Plantago media*. Прочие виды: *Poa angustifolia*, *Anthoxanthum odoratum*, *Agrostis tenuis*, *Stellaria graminea*, *Thalictrum lucidum*,

Cerastium holosteoides. Общее проективное покрытие 75 %. Почва дерново-глееватая, супесчаная.

Объект № 4. Пониженная равнина правобережной центральной поймы. Ассоциация *Deschampsio-Poetum palustris*. Д.в. ассоциации – *Poa palustris*, *Deschampsia cespitosa*, *Ranunculus repens*. Д.в. союза *Agropyro-Rumicion crispi* – *Potentilla anserina*, *Leontodon autumnalis*, *Agrostis gigantea*. Д.в. *Molinio-Arrhenatheretea* – *Rhinanhtus vernalis*, *Phleum pratense*, *Ranunculus acris*, *Poa trivialis*, *Trifolium pratense*. Д.в. порядка *Molinietalia* – *Filipendula ulmaria*. Д.в. союза *Arrhenatherion elatioris* – *Campanula patula*. Д.в. союза *Cynosurion* – *Trifolium repens*. Прочие виды: *Rumex thyrsiflorus*, *Stellaria palustris*, *Prunella vulgaris*, *Agrostis tenuis*, *Stellaria graminea*. Общее проективное покрытие 80%. Количество видов 15–17. Почва дерново-глееватая, супесчаная.

Радиологический анализ почвы изучаемых луговых ассоциаций в пойме р. Беседь (рис. 1) показал, что наиболее высокая удельная активность цезия-137 за пятилетний период исследований наблюдалась у ассоциаций *Caricetum gracilis*. Удельная активность почвы от первого года наблюдений в 2018 г. к пятому 2022 г. снизилась на 230 Бк/кг. У ассоциации *Deschampsietum cespitosae* удельная активность почвы за пятилетний период уменьшилась на 250 Бк/кг. У двух других ассоциаций удельная активность почвы уменьшилась соответственно на 200 и 280 Бк/кг.

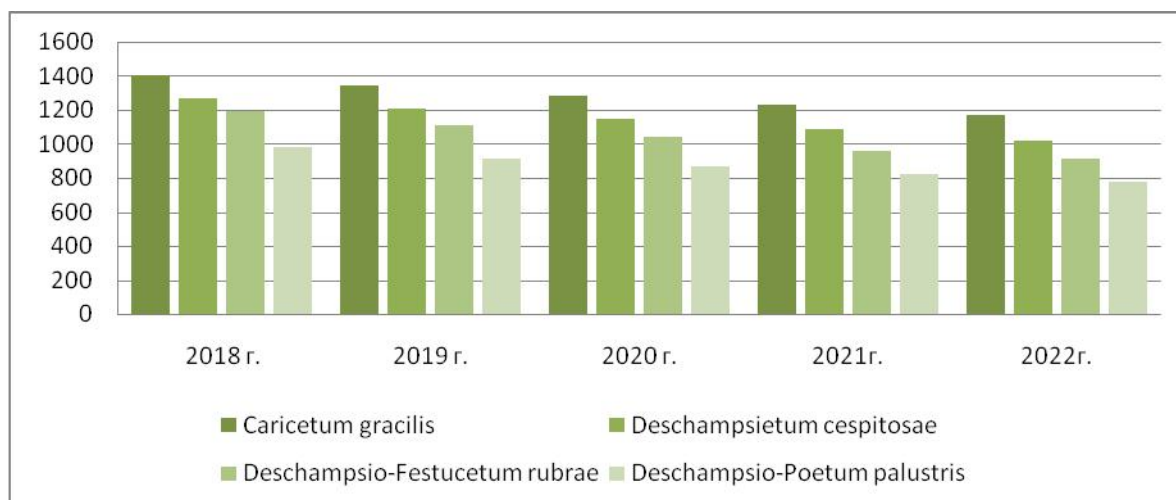


Рис. 1. Удельная активность ^{137}Cs в почве луговых сообществ поймы р. Беседь Ветковского района по годам исследований

Анализ удельной активности надземной фитомассы луговых ассоциаций в пойме р. Беседь выявил (рис. 2), что относительно высокая удельная активность отмечена у ассоциации *Caricetum gracilis*, а наименьшая – в ассоциации *Deschampsio-Poetum palustris*. Промежуточное положение занимали ассоциации *Deschampsietum cespitosae* и *Deschampsio-Festucetum rubrae*. Нужно отметить, что в надземной фитомассе содержание цезия-137 оказалось ниже 300 Бк/кг и полученный травяной корм с этих угодий может быть пригоден для использования животными без ограничений.

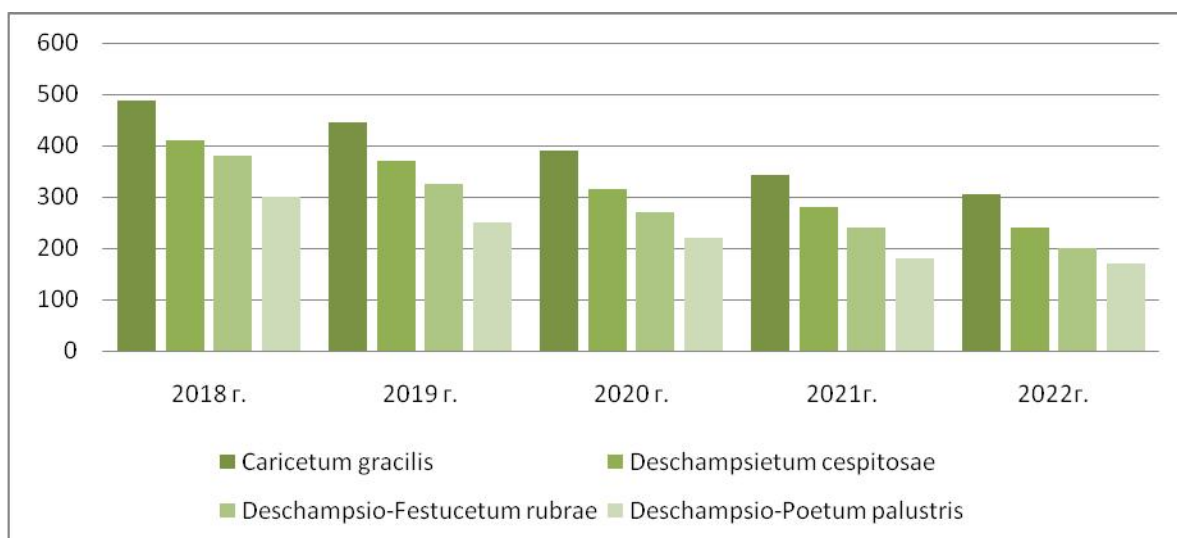


Рис. 2. Удельная активность ^{137}Cs в надземной фитомассе луговых сообществ поймы р. Беседь Ветковского района по годам исследований

Анализ КН цезия-137 в надземной фитомассе луговых ассоциаций выявил, что более высоким КН, по сравнению с другими ассоциациями, характеризовалась ассоциация *Caricetum gracilis* (0,26), а менее высоким – ассоциация *Deschampsio-Poetum palustris* (0,21). За пятилетний период наблюдалось изменение КН от первого года исследований к пятому в среднем на 0,9.

Таким образом, во всех изучаемых ассоциациях содержание радиоактивного цезия-137 за пятилетний период уменьшилось на 200–280 Бк/кг, а в надземной фитомассе за этот же период – на 130–180 Бк/кг.

Библиографический список

1. Хвостова М. С. Эколого-географические аспекты Чернобыльской катастрофы (историко-научный обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 1. С. 65–71. doi: 10.25750/1995-4301-2008-1-065-71
2. Нацыянальны атлас Беларусі. Мн., 2002. 292 с.
3. Корчагин А. А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника : сб. науч. статей. Л. : Наука, 1964. Т. 3. С. 39.
4. Александрова В. Д. Классификация растительности. Л. : Наука, 1969. 273 с.
5. Карамышева З. В. Опыт обработки описаний пробных участков степных сообществ методом Браун-Бланке // Ботан. журн. 1967. Т. 52, № 8. С. 1132–1145.
6. Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности. М. : Логос, 2002. 264 с.
7. Раменский Л. Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л. : Наука, 1971. 334 с.
8. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. Мн. : Дизайн ПРО, 1999. 472 с.
9. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Wien, New-York : Springer-Verlag, 1964. 865 p.

ЭКОЛОГО-ФИТОЦЕНОТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА *FESTUCA RUBRA* L. В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

О. Т. Маматкосимов, Б. Ж. Мавланов

Институт ботаники Академии наук Республики Узбекистан,
odilbek.mamatqosimov.90@bk.ru

В статье приведена эколого-фитоценотическая характеристика *Festuca rubra* L. по результатам обследования трёх ценопопуляций в Узбекистане. Выявлены видовой состав (66 видов высших растений), доминирующие виды растений и проективное покрытие каждого вида.

Ключевые слова: Западный Тянь-Шань, Северный Туркестан, Узбекистан, фитоценоз, *Festuca rubra*.

Охрана растительного мира, в т.ч. диких сородичей культурных растений, требует решения множества конкретных задач: частных и общих, локальных и планетарных [1]. Все они связаны с необходимостью сохранения всего разнообразия растений, населяющих Землю [2]. Дикие родичи культурных растений (далее – ДРКР) и культурные виды составляют неотъемлемую часть генетических ресурсов растений, определяющих продовольственную безопасность государства и подлежащих сохранению на международном уровне. К ДРКР относят виды природной флоры, эволюционно близкие к культурным растениям, входящие с ними в один род, потенциально пригодные для введения в культуру, для создания или улучшения сортов культурных растений [3]. ДРКР являются носителями ценных признаков и свойств, отсутствующих или слабо выраженных у культивируемых растений [4].

Во флоре Республики Узбекистан насчитывается 4 350 видов высших растений, относящихся к 1 003 родам и 171 семейству [5]. В результате обзора литературы и анализа предыдущих исследований, во флоре Узбекистана нами выявлено 222 вида ДРКР, относящихся к 105 родам и 25 семействам [6]. *Festuca rubra* L. в пределах республики распространена на хребтах Западного Тянь-Шаня, Северного Туркестана и в Шахмардане.

Цель данного исследования – выявить видовой состав сообществ и охарактеризовать эколого-фитоценотические особенности *F. rubra* в Республике Узбекистан.

F. rubra – многолетнее травянистое растение высотой 20–75 см. Стебель голый или шероховатый под метелкой, слегка фиолетовый. Влагалище верхних листьев голое, нижних листьев – опушенное. Язычок до 1 мм длиной. Листья свернутые, шириной до 1 мм у прикорневых, до 1–1,5 мм у стеблевых. Метелка узкая, колосовидная, длиной до 10 см и шириной 0,5–1,6 см; главная и боковые оси шероховатые. Колоски длиной 6–12 мм, овальные, фиолетовые, 4–7-цветковые. Колосковые чешуи ланцетные, длина нижней 3–

3,5 мм, верхней – 4–5 мм. Нижняя цветковая чешуя длиной 5–6 мм, на спинке голая или рассеянно-опушенная, ость длиной 2–8 мм. Цветет и плодоносит в июле–августе [7].

Фитоценозы с участием *F. rubra* описывали на площади 100 м² по общепринятым методикам [4, 8]. В идентификации и определении жизненных форм растений использована 10 томная монография «Определитель растений Средней Азии» (1968–1993) [9]. Названия растений представлены согласно <http://www.plantsoftheworldonline.org/> [10], <http://www.theplantlist.org/> [11], www.ipni.org [12].

Во время вегетационного сезона обследованы три ценопопуляции (далее – ЦП) *F. rubra*, которые расположены на высоте от 865 до 1 130 м над ур. м. (рис. 1).

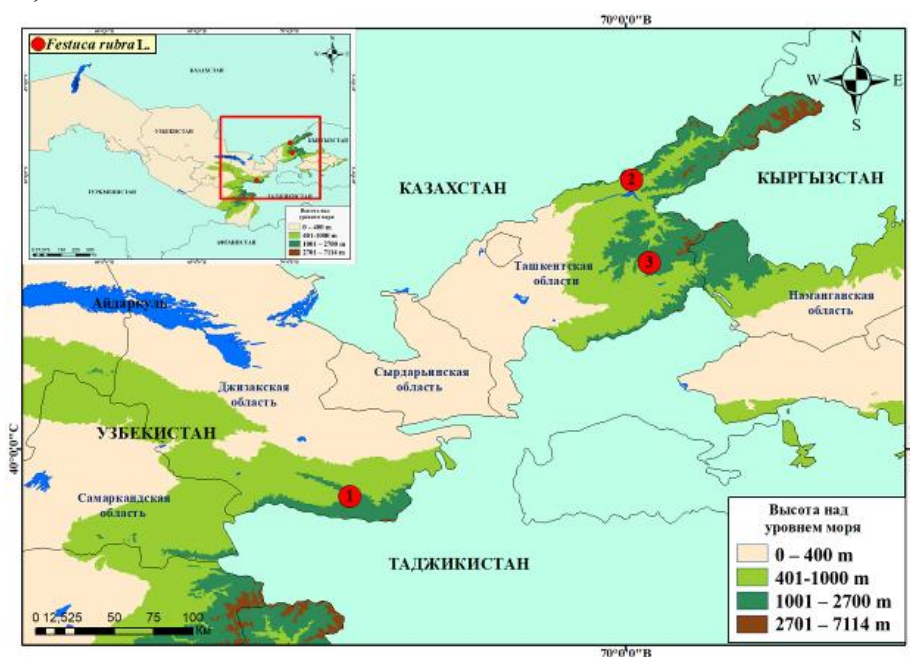


Рис. 1. Расположение ценопопуляций *Festuca rubra*: отмечено точками

Первая ЦП расположена на перевале Гуралаш Туркестанского хребта в Джизакской области. На этой территории произрастает разнотравно-миндальное растительное сообщество. Субстрат представлен огромными каменистыми скалами. Степень покрытия растительностью – 65 %. Флористический состав богат и представлен 35 видами. В данном сообществе доминируют *Prunus spinosissima* (Bunge) Franch. и *Poa bulbosa* L.

ЦП 2 выделена на адырах пос. Сиджак Бостанлыкского района Ташкентской области. Здесь расположено разнотравно-эремурусово-боярышниковое сообщество. Степень покрытия растительностью – 55–60 %. Доминируют в фитоценозе *Crataegus pontica* K.Koch и *Eremurus lactiflorus* O. Fedtsch.

ЦП 3 находится на берегу р. Угам Бостанлыкского района Ташкентской области. На каменистом субстрате участка расположено разнотравно-тысячелистниково-ореховое сообщество. Степень покрытия растительностью

– 30–35 %. Во флоре выявлено 25 видов растений, преобладают среди которых *Juglans regia* L. и *Achillea millefolium* L.

Таким образом, в местообитаниях трех ЦП *F. rubra* выявлено в общем 66 видов высших растений (табл.).

Таблица

Видовой состав фитоценозов с *Festuca rubra*

№	Название вида	Жизненная форма	Проективное покрытие, %		
			1	2	3
1	2	3	4	5	6
1	<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>semenovii</i> (Regel & Herder) A. E. Murray	Дерево	–	+	–
2	<i>Crataegus pontica</i> K. Koch	Дерево	–	25	+
3	<i>Juglans regia</i> L.	Дерево	–	+	15
4	<i>Prunus amygdalus</i> Batsch	Дерево	–	4	–
5	<i>Salix alba</i> L.	Дерево	–	+	–
6	<i>Atraphaxis pyrifolia</i> Bunge	Кустарник	–	–	+
7	<i>Berberis oblonga</i> (Regel) C. K. Schneid.	Кустарник	+	–	–
8	<i>Prunus spinosissima</i> (Bunge) Franch.	Кустарник	25	–	–
9	<i>Lonicera nummulariifolia</i> Jaub. & Spach	Кустарник	–	–	+
10	<i>Rosa canina</i> L.	Кустарник	–	+	+
11	<i>Rosa webbiana</i> Wall. ex Royle	Кустарник	+	–	–
12	<i>Scutellaria cordifrons</i> Juz.	Полукустарник	–	+	–
13	<i>Sibbaldianthe orientalis</i> (Juz. ex Soják) Mosyakin & Shiyen	Полукустарник	+	–	–
14	<i>Ziziphora pedicellata</i> Pazij & Vved.	Полукустарник	2	3	+
15	<i>Achillea millefolium</i> L.	Многолетник	–	–	10
16	<i>Allium caesium</i> Schrenk.	Многолетник	1	–	–
17	<i>Artemisia absinthium</i> L.	Многолетник	3	–	–
18	<i>Artemisia dracunculus</i> L.	Многолетник	2	–	–
19	<i>Aster altaicus</i> var. <i>canescens</i> (Nees) Serg.	Многолетник	1	–	–
20	<i>Astragalus adpresepilosus</i> Gontsch.	Многолетник	1	–	–
21	<i>Bromus inermis</i> Leyss.	Многолетник	3	–	–
22	<i>Carex pachystylis</i> J.Gay	Многолетник	1	–	–
23	<i>Convolvulus lineatus</i> L.	Многолетник	1	+	+
24	<i>Eremurus lactiflorus</i> O. Fedtsch.	Многолетник	–	15	–
25	<i>Festuca rubra</i> L.	Многолетник	4	3	1
26	<i>Galium pamiroalaicum</i> Pobed.	Многолетник	+	–	–
27	<i>Galium pseudorivale</i> Tzvelev	Многолетник	–	+	–
28	<i>Gentiana olivieri</i> Griseb.	Многолетник	+	+	–
29	<i>Hypericum elongatum</i> Ledeb. ex Rchb.	Многолетник	–	+	+
30	<i>Hypericum scabrum</i> L.	Многолетник	+	–	–
31	<i>Ixiolirion tataricum</i> (Pall.) Schult. & Schult.f.	Многолетник	+	–	–
32	<i>Lomelosia olivieri</i> (Coult.) Greuter & Burdet	Многолетник	–	+	–
33	<i>Papaver croceum</i> Ledeb.	Многолетник	+	–	–
34	<i>Pentanema britannica</i> (L.) D. Gut. Larr., Santos-Vicente, Anderb., E. Rico & M. M. Mart. Ort.	Многолетник	–	–	+
35	<i>Poa bulbosa</i> L.	Многолетник	5	2	+

1	2	3	4	5	6
36	<i>Potentilla inclinata</i> Vill.	Многолетник	+	–	–
37	<i>Prangos pabularia</i> Lindl.	Многолетник	–	1	+
38	<i>Phlomoides speciosa</i> (Rupr.) Adylov, Kamelin & Makhm.	Многолетник	2	–	–
39	<i>Phlomis thapsoides</i> Bunge	Многолетник	–	–	+
40	<i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst.	Многолетник	1	–	–
41	<i>Pedicularis olgae</i> Regel	Многолетник	+	–	–
42	<i>Pseudosedum longidentatum</i> Boriss.	Многолетник	+	+	–
43	<i>Rumex acetosa</i> L.	Многолетник	–	+	–
44	<i>Schrenkia golickeana</i> (Regel & Schmalh.) B. Fedtsch.	Многолетник	+	–	–
45	<i>Stipa capillata</i> L.	Многолетник	1	+	–
46	<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.	Многолетник	–	+	+
47	<i>Trifolium pratense</i> L.	Многолетник	–	+	+
48	<i>Thalictrum isopyroides</i> C. A. Mey.	Многолетник	+	–	–
49	<i>Vicia tenuifolia</i> Roth.	Многолетник	+	–	+
50	<i>Cousinia dshisakensis</i> Kult.	Двулетник	3	–	–
51	<i>Dianthus recticaulis</i> Ledeb.	Двулетник	+	+	–
52	<i>Alyssum desertorum</i> Stapf	Однолетник	+	–	–
53	<i>Alyssum turkestanicum</i> Regel & Schmalh	Однолетник	+	+	+
54	<i>Aegilops triuncialis</i> L.	Однолетник	–	+	+
55	<i>Avena barbata</i> Pott ex Link	Однолетник	+	+	+
56	<i>Galium aparine</i> L.	Однолетник	1	+	+
57	<i>Geranium pusillum</i> L.	Однолетник	–	–	+
58	<i>Koelpinia linearis</i> Pall.	Однолетник	–	+	–
59	<i>Melica persica</i> Kunth	Однолетник	+	+	–
60	<i>Papaver laevigatum</i> M. Bieb.	Однолетник	+	–	–
61	<i>Ranunculus testiculatus</i> Crantz	Однолетник	+	–	–
62	<i>Roemeria refracta</i> DC.	Однолетник	+	–	–
63	<i>Scandix pecten-veneris</i> L.	Однолетник	–	+	+
64	<i>Turgenia latifolia</i> (L.) Hoffm.	Однолетник	–	+	1
65	<i>Vicia sativa</i> subsp. <i>nigra</i> Ehrh.	Однолетник	–	+	+
66	<i>Ziziphora capitata</i> L.	Однолетник	–	–	+

В результате анализа полученных данных можно отметить, что *F. rubra* в основном растёт в разнотравных сообществах. Наибольшее число видов приходится на семейства Asteraceae и Poaceae (по 8 видов), Rosaceae (7 видов); меньше – на семейства Lamiaceae и Liliaceae (по 5 видов), Fabaceae и Apiaceae (по 4 вида). Самыми малочисленными по числу видов стали Sapindaceae и Juglandaceae (по 1 виду).

Полученные результаты позволяют оценить флористический состав территории и необходимы для организации регулярного мониторинга исчезающих видов.

Библиографический список

1. Мифтахова С. Р., Абрамова Л. М. Редкие виды диких родичей культурных растений Республики Башкортостан // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1. С. 66–68.
2. Современные методы и международный опыт сохранения генофонда дикорастущих растений (на примере диких плодовых). Алматы, 2011. 188 с.
3. Смекалова Т. Н., Чухина И. Г. Каталог мировой коллекции ВИР. Дикие родичи культурных растений. СПб., 2005. 54 с.
4. Шенников А. П. Введение в геоботанику. Л. : Наука, 1964. 447 с.
5. The Flora of Uzbekistan Project / A. N. Sennikov, K. Sh. Tojibaev, F. O. Khassanov, N. Yu. Beshko // Phytotaxa. 2016. 282 (2). P. 107–118. doi: 10.11646/phytotaxa.282.2.2
6. Редкие виды диких родичей культурных растений Республики Узбекистан / О. С. Абдураимов, А. В. Махмудов, Р. П. Аймуратов, А. Л. Алламуратов, Ш. У. Сариебаева, Б. Ж. Мавланов // Вестник АН РУз. 2021. № 3. С. 37.
7. Брежнев Д. Д., Коровина О. Н. Дикие сородичи культурных растений флоры СССР. Л. : Колос, Ленингр. отд-ние, 1981. 47 с.
8. Полевая геоботаника / под общей ред. Е. М. Лавренко и А. А. Корчагина. М. : Наука, 1964. Т. 3. 230 с.
9. Определитель растений Средней Азии. Критический конспект флоры. В I–X т. Ташкент : Фан, 1968–1993.
10. www.plantsoftheworldonline.org
11. www.theplantlist.org
12. www.ipni.org

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

М. И. Василевич, Н. А. Семёнова

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

В статье представлены результаты исследования химического состава эпифитных лишайников на особо охраняемых территориях Республики Коми. Отмечены специфика накопления отдельных элементов в разных территориально различающихся резерватах и тренды изменения содержания элементов в лишайниках в широтном и долготном направлениях. Траекторный анализ позволил выявить особенности атмосферной циркуляции, обуславливающей дальний перенос веществ, для каждой территории.

Ключевые слова: эпифитные лишайники, особо охраняемые природные территории, химический состав, обратные траектории переноса воздушных масс.

В связи с запретом хозяйственной деятельности на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) основным видом техногенной нагрузки, влияющей на их природное состояние, является атмосферное рассеивание техногенных ингредиентов. Печоро-Илычский биосферный заповедник и национальный парк «Югыд Ва» (НП «Югыд ва») в плане территориального

размещения достаточно удалены от источников загрязнения, промышленных центров и крупных населенных пунктов, что должно обеспечивать геохимическую автономность их ландшафтов. Однако к югу от границ охраняемой территории расположены промышленные регионы – Пермский край, Свердловская и Кировская области. С другой стороны, Уральские меридиальные хребты, расположенные на восточной границе, служат естественным геохимическим барьером, задерживающим западные переносы воздушных масс, способствуют интенсивной конденсации атмосферной влаги и выпадению переносимых из техногенных районов поллютантов. В то время как национальный парк «Койгородский» (НП «Койгородский»), расположенный на территории Прилузского и Койгородского административных районов Республики Коми, на границе с Кировской областью, находится вблизи значительно более населенной и промышленно освоенной территории. Цель работы – исследование химического состава эпифитных лишайников на территории трех крупных ООПТ Республики Коми: во взаимосвязи с особенностями расположения резерватов и атмосферной циркуляции.

Исследования химического состава эпифитных лишайников проводились в 2014–2015 гг. и 2017–2021 гг. Отбор проб осуществлен непосредственно на территории ООПТ – национальные парки «Койгородский» и «Югыд ва», Печоро-Илычский биосферный заповедник, а также на территории юго-восточных районов Республики Коми Корткеросского, Усть-Куломского, Троицко-Печорского и Вуктыльского, которые примыкают к природным резерватам (рис. 1).

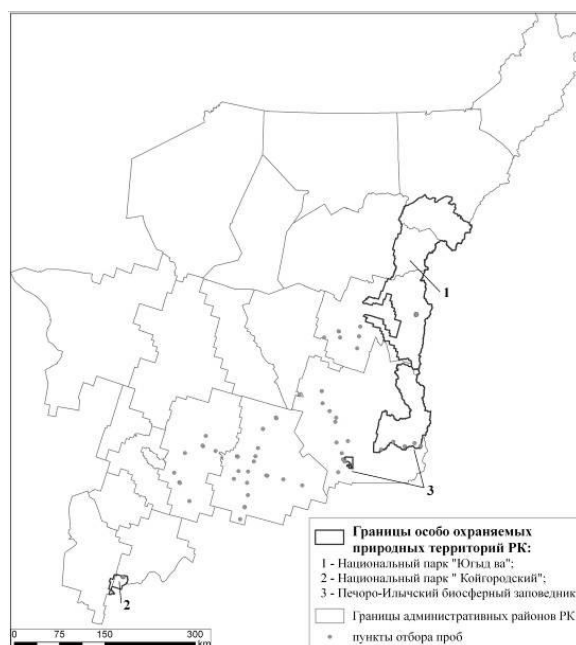


Рис. 1. Карта-схема расположения пунктов отбора проб лишайников в юго-восточных районах и на ООПТ Республики Коми

Подготовка проб, химический анализ образцов и обработка полученных результатов проводилась стандартными общеизвестными методами. Собраны

виды, которые присутствовали или были наиболее массовыми на исследованной территории, лишайников 2 родов *Usnea* (*U. dasypoga*, *U. subfloridana*, *U. lapponica*, *U. longissima*, *U. glabrescens*, *U. substerilis*) и *Bryoria* (*B. nadvornikiana*, *B. capillaris*, *B. fuscescens*). Ранее были получены значимые различия в накоплении металлов лишайниками разных родов согласно критериям Вилкоксона и Стьюдента. Так среднее значение содержания железа в представителях рода *Usnea* составило 87 ± 14 мг/кг, *Bryoria* – 113 ± 17 мг/кг. Содержание ртути в лишайниках рода *Bryoria* значительно больше (192 ± 40 мкг/кг) содержания ртути в лишайниках рода *Usnea* (113 ± 23 мкг/кг) [1]. Результаты проб лишайников с ООПТ вошли в канву полученных ранее результатов и выводов. Поскольку практически в каждом пункте проводили параллельный отбор видов двух родов, то при анализе различий территориального накопления данные усреднялись.

Результаты анализа среднего содержания химических элементов в кустистых эпифитных лишайниках на ООПТ в сравнении юго-восточными районами в единицах сухой массы приведены в таблице 1. Анализ средних величин содержания металлов в талломах эпифитных лишайников показал некоторые достоверные различия накопления. Так отмечено высокое содержание свинца в лишайниках НП «Койгородский» и в НП «Югыд ва» в отличие от других территорий. Если в первом это может быть обусловлено близостью промышленных территорий, то во втором – конденсацией в предгорьях Урала. В южной части региона в целом отмечается большее накопление хрома, что может быть обусловлено вероятными источниками хрома в Пермском крае (п. Сараны). Ранее полученный тренд увеличения содержания в лишайниках ртути с юга на север региона подтверждается максимальным ее содержанием в НП «Югыд ва» (рис. 2) [1].

Таблица 1

Содержание химических элементов в эпифитных лишайниках, в сухой массе (мг/кг)

Содержание элементов	Юго-восточные районы Республики Коми	НП «Койгородский»	НП «Югыд ва»	Печоро-Илычский заповедник
Cu, мг/кг	$1,93 \pm 0,26^*$	$1,83 \pm 0,23$	$2,00 \pm 0,30$	$1,88 \pm 0,24$
Pb, мг/кг	$2,74 \pm 0,52$	$3,29 \pm 0,45$	$3,56 \pm 0,58$	$2,48 \pm 0,44$
Cd, мг/кг	$0,20 \pm 0,06$	$0,13 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,03$	$0,28 \pm 0,05$
Zn, мг/кг	$44,8 \pm 7,5$	$48,4 \pm 6,0$	$51,5 \pm 5,5$	$59,5 \pm 13,4$
Ni, мг/кг	$1,79 \pm 0,64$	$1,25 \pm 0,24$	$1,32 \pm 0,32$	$1,64 \pm 0,57$
Co, мг/кг	$0,23 \pm 0,05$	$0,23 \pm 0,08$	$0,17 \pm 0,05$	$0,12 \pm 0,02$
Mn, мг/кг	238 ± 115	344 ± 119	355 ± 117	203 ± 70
Fe, мг/кг	138 ± 47	115 ± 21	93 ± 11	106 ± 19
Al, мг/кг	138 ± 53	156 ± 33	130 ± 20	113 ± 8
Cr, мг/кг	$2,68 \pm 1,14$	$1,04 \pm 0,18$	$0,99 \pm 0,27$	$1,82 \pm 0,73$
Hg, мкг/кг	138 ± 36	127 ± 19	198 ± 58	105 ± 23

Примечание: * – среднеарифметическое значение выборки и стандартное отклонение среднего.

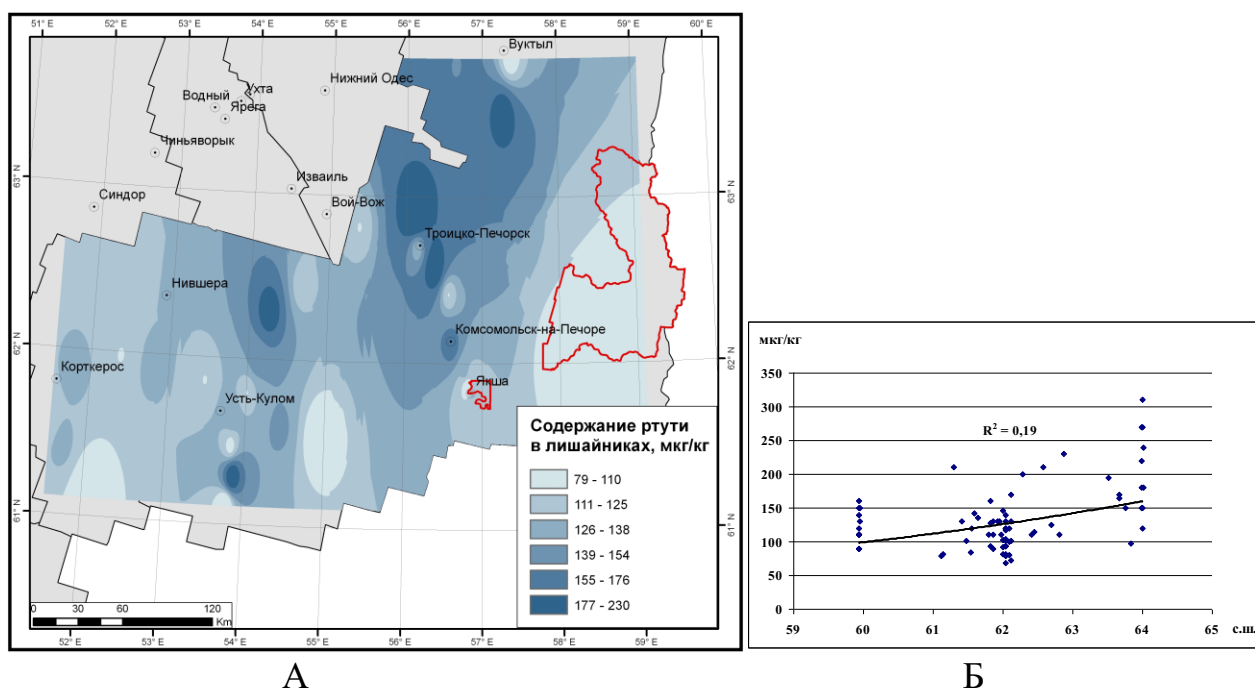


Рис. 2. Карта-схема содержания ртути в эпифитных лишайниках, мкг/кг (А) и экспоненциальная зависимость содержания ртути в лишайниках от географической широты (Б)

Для того чтобы оценить соотношение техногенных и терригенных источников поступления тяжелых металлов, нами были рассчитаны значения показателя обогащения $K_{об}$ (коэффициент обогащения) [2]. Такой анализ позволяет более четко определить то, какие источники определили накопление тех или иных металлов в талломах лишайников. По значениям $K_{об}$ рассматриваемые элементы могут быть разделены на терригенные ($K_{об} < 10$) и антропогенные ($K_{об} > 10$) [3].

На графике средних значений $K_{об}$ наглядно показано, что к терригенным элементам относятся – Co, Fe, Ni, Cr (рис. 3А). Однако в южных районах в целом и заповеднике наблюдается либо локальное повышение накопления никеля и хрома, либо имеет место влияния дальнего переноса. На территории заповедника также отмечается значимое в сравнении с другими территориями накопление в лишайниках цинка и кадмия.

Кадмий имеет преимущественно техногенное происхождение и его присутствие в образцах лишайника обусловлено дальним переносом. Можно предположить, что источники поступления кадмия расположены южнее исследованной территории в целом, причем происходит его интенсивное накопление вследствие конденсирования осадков в предгорьях Урала (рис. 3Б).

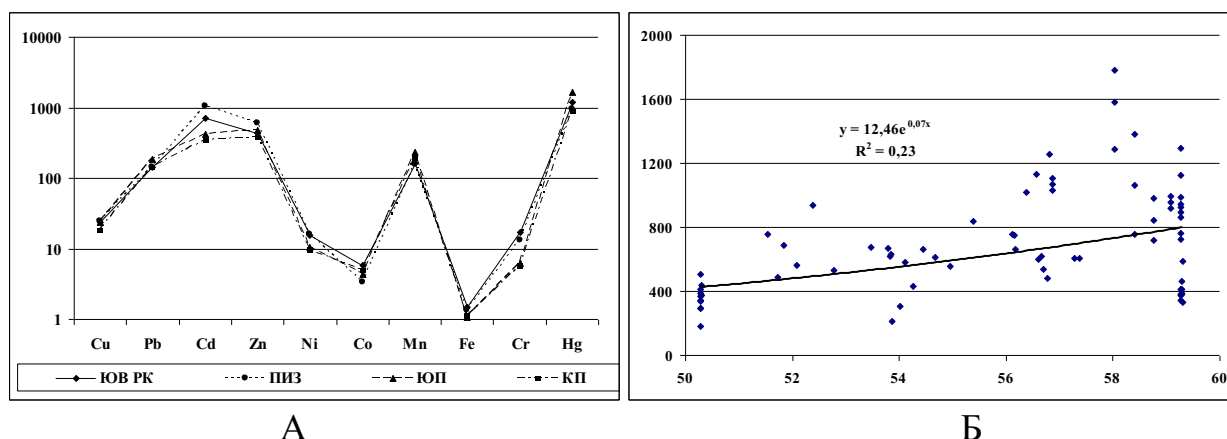


Рис. 3. Графики среднеарифметических значений K_{06} для: ЮВ РК – юго-восточных районов Республики Коми, ПИЗ – Печоро-Илычского заповедника, ЮП – национального парка «Югыд ва», КП – национального парка «Койгородский» (А); значений K_{06} кадмия в лишайниках в зависимости от долготы (Б)

В настоящее время все чаще в экологических исследованиях применяется траекторный подход – расчет траекторий обратного переноса воздушных масс к территории исследования. Метод статистики траекторий дает возможность анализировать средние характеристики процессов циркуляции атмосферы с целью выявления возможных источников поступления различных загрязнителей в окружающую среду [4, 5]. Географическое положение территории исследования определяет особенности атмосферных переносов и их происхождение. Так круглогодичные суточные траектории, полученные за 2017–2021 гг. для исследованных ООПТ показали обычное преобладание западных, юго-западных и южных ветров, что согласуется с данными многолетних метеорологических наблюдений (табл. 2). Для вытянутой вдоль Уральского хребта территории НП «Югыд ва» характерно большое влияние переносов с востока – Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского округов, и с севера – Ненецкого округа и с акватории Ледовитого океана.

Таблица 2

Распределение координат прохождения обратных траекторий по регионам России, %

Регион	Национальный парк «Койгородский»	Печеро-Илычский заповедник	Национальный парк «Югыд ва»
1	2	3	4
Республика Коми	24,9	43,8	54,7
Пермский край	3,3	19,9	3,8
Ханты-Мансийский а.о.*	0,4	9,0	11,7
Кировская область	18,2	5,4	1,8
Свердловская область	0,8	5,3	1,3
Архангельская область	12,2	3,3	4,4
Ямало-Ненецкий а.о.	0,1	2,1	4,2
Республика Башкортостан	0,4	1,6	0,2

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
Вологодская область	7,4	1,3	0,8
Удмуртская Республика	1,5	1,3	0,4
Республика Татарстан	1,4	1,0	0,2
Нижегородская область	3,8	1,0	0,2
Ненецкий а.о.	0,6	0,9	4,9
Костромская область	5,0	0,8	0,4
Акватория Северного Ледовитого океана	1,1	0,6	4,8
Республика Марий Эл	1,4	0,5	0,1
а.о. * – автономный округ			

Для расположенного в юго-западной части региона НП «Койгородского» отмечается значимое влияние переносов с расположенных западнее областей – Архангельской, Вологодской, Кировской и Костромской. Также выявлена менее выраженная, но сравнимо более значимая доля переносов с Удмуртии, вероятно может обусловить повышенное накопление свинца в лишайниках, что в наших исследованиях отмечалось ранее. Для территории заповедника важно отметить влияние переносов с Пермского края и Свердловской области, где расположено много промышленных предприятий, образующих Уральский промышленный регион.

Библиографический список

1. Василевич М. И., Василевич Р. С. Особенности накопления тяжелых металлов эпифитными лишайниками в таежной зоне фоновых территорий Европейского Северо-Востока России // Экология. 2018. № 1. С. 17–23. doi: 10.7868/S036705971801002X
2. Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. В. Кокин, А. Е. Мирошников, В. Г. Прохоров М. : «Недра», 1990. 480 с.
3. Малахов С. Г., Маханько Э. П. Выброс токсичных металлов в атмосферу и их накопление в поверхностном слое земли // Успехи химии. 1990. Т. 59, Вып. 11. С. 1777–1798.
4. Кондратьев И. И. Трансграничный перенос аэрозоля и кислых осадков на дальний восток. Владивосток : Дальнаука, 2014, 300 с.
5. Evaluation of aerosol sources at European high altitude background sites with trajectory statistical methods / P. Salvador, B. Artinano, C. Pio, J. Afonso, M. Legrand, H. Puxbaum, S. Hammer // Atmospheric Environment. 2010. Vol. 44. P. 2316–2329.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИШАЙНИКОВ РОДОВ *CLADONIA* И *CETRARIA* ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БИОМОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ЦЕНТРАЛЬНОМ СЕКТОРЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

А. В. Горбунов, Д. Б. Петренко, А. А. Дронова, О. И. Окина
Геологический институт РАН, anatolygor@yandex.ru

Методами рентгенофлуоресцентного анализа, масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой и атомно-абсорбционной спектрометрии холодного пара изучен характер распределения тяжелых и токсичных элементов в почвах и лишайниках на территории, расположенной в 50–65 км к юго-западу от Норильского промышленного конгломерата. Установлено, что в почвах накапливаются Cr, Cu, Co, Ni в концентрациях, превышающих кларковые значения, однако не достигающих предельно допустимых концентраций. Существенного накопления лишайниками токсичных элементов не выявлено, что согласуется с розой ветров в районе исследования.

Ключевые слова: лишайники, биомониторинг, Арктика, тяжелые и токсичные элементы.

Процессы техногенного загрязнения природных сред захватывают все новые пространства, включая мало населенные территории Арктического бассейна. В центральной части Арктического региона антропогенное воздействие на природную среду формируется в основном за счет Норильского горно-металлургического комплекса. Для оценки глобальных и региональных факторов воздействия на природную среду, наиболее важным является контроль за атмосферными выпадениями, который может осуществляться путем непосредственного отбора атмосферных аэрозолей с помощью аспираторов, расположения планшетов на исследуемых территориях, отбора образцов снежного покрова, биомониторинга с помощью мхов и лишайников. В результате анализа достоинств и недостатков каждого из этих методов мы остановились на использовании биомониторинга атмосферных выпадений при помощи лишайников [1–4].

Лишайники представляют собой симбиотическую ассоциацию микобионта и фотобионта. Гифы гриба поглощают воду и растворённые в ней минеральные вещества, а водоросль, в которой имеется хлорофилл, образует органические вещества. Воду лишайники впитывают всей поверхностью тела используя атмосферную влагу. Большая часть необходимых минеральных веществ улавливается ими из аэрозольных частиц и дождевой воды. Этой особенностью объясняется способность лишайников концентрировать в своем теле микроэлементы, в том числе тяжелые и токсичные металлы, выпадающие на землю вместе с осадками. С точки зрения распространенности, доступности и легкости пробоотбора, лишайники представляют собой универ-

сальные объекты для исследования. Это особенно важно для территорий, где растительность крайне скудна и отсутствуют даже мхи.

Целью настоящей работы было изучение возможности использования наиболее типичных для Российского Севера лишайников при оценке загрязнения природной среды тяжелыми и токсичными металлами антропогенного происхождения в центральном секторе Российской Арктики.

Отбор образцов проводился в летний сезон 2021 года в 50–65 км к юго-западу от Норильского промышленного конгломерата. Площадки отбора образцов характеризовались крайне бедным распространением растительности, видимо, вследствие верховых пожаров, произошедших на этой территории несколько лет назад (рис. 1).



Рис. 1. Район отбора образцов

Образцы почвы и лишайников (*Cetraria islandica*, *Cladonia rangiferina*, *Cladonia alpestris*) отбирались с одних и тех же площадок. Отбор образцов осуществлялся по двум профилям протяженностью 14 и 20 км с шагом 0,5–2 км. Пробы почвы отбирали в соответствии с общепринятыми методиками [5, 6], высушивали при температуре 30 °С до воздушно-сухого состояния, просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм и растирали. Пробы лишайников отбирали в соответствии с опубликованными в литературных источниках рекомендациями [3, 7], высушивали при комнатной температуре, а затем в сушильном шкафу при температуре 30 °С до постоянного веса, измельчали в гомогенизаторе до размеров < 1 мм. Анализ проб выполняли методами рентгенофлуоресцентного анализа, масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой и атомно-абсорбционной спектрометрии холодного пара в Лаборатории химико-аналитических исследований Геологического ин-

ститута РАН. Совместное использование указанных методов обеспечивает определение в отобранных образцах интересующих нас элементов в широком диапазоне концентраций.

В таблице приведены результаты анализа образцов почв и лишайников.

Таблица

**Концентрация тяжелых и токсичных элементов в почвах и лишайниках,
Воздушно-сухой вес, мг/кг**

Элемент	Средняя кон- центрация	Медиана	Минимальная концентрация	Максимальная концентрация	Стандартное отклонение
Почва					
Ti	5258	5429	1328	7800	1874
V	173,5	184,3	14,0	270,3	59,8
Cr	194	184	47	471	74,2
Mn	968	949	295	1689	335
Fe	42815	43839	8582	73570	18354
Co	27,2	25,3	10,3	52,1	12,6
Ni	93,5	82,5	49,4	287	49,2
Cu	93,6	82,8	34,6	328	67,2
Zn	95,4	96,0	54,5	155	26,5
As	6,61	6,52	5,50	8,12	0,95
Sr	118	117	62,6	219	36,7
Mo	2,00	2,00	1,7	2,3	0,02
Ba	488	480	154	1056	154
Hg, мкг/кг	95,2	89,6	34,3	239	44,4
Pb	14,8	14,4	11,6	20,7	2,62
Th	3,56	3,50	2,20	6,70	1,09
U	2,83	2,83	2,20	3,60	0,68
Лишайник					
Ti	49,8	34,3	6,05	331	61,9
V	1,90	0,93	0,23	11,9	2,44
Cr	3,55	2,68	0,96	16,10	2,93
Mn	50,9	30,8	5,15	162	40,4
Co	1,31	1,09	0,62	3,57	0,78
Ni	24,2	19,2	9,47	62	13,1
Cu	18,5	13,8	6,02	74,1	16,3
Zn	16,1	16,6	5,83	27,5	5,97
As	0,19	0,15	0,07	0,82	0,14
Se	0,96	0,76	0,26	3,28	0,69
Sr	6,28	3,04	1,04	26,9	5,04
Mo	0,04	0,03	0,02	0,13	0,02
Cd	0,14	0,12	0,05	0,59	0,10
Sn	0,16	0,12	0,05	0,55	0,12
Sb	0,02	0,02	0,01	0,11	0,02
Ba	6,77	5,02	1,47	18,28	4,70
Hg, мкг/кг	31,9	28,7	9,27	89,8	16,9
Pb	2,39	1,91	0,25	6,72	1,63

Количественное содержание токсичных элементов в почве находится в диапазоне предельно допустимых концентраций (ПДК). При этом, следует отметить близкие средние арифметические значения и значение медианы для большинства элементов. Этот факт, а также то, что значение стандартного отклонения находится в пределах 30–35%, говорит о достаточно равномерной выборке данных.

Данные, приведенные для лишайников, обладают чрезвычайно высокой вариабельностью. Следует отметить большую величину стандартного отклонения (60–100% и более), а также значительное расхождение между медианой и средним арифметическим значением концентрации. Это говорит о значительной неравномерности в выборке. Величина концентрации практически всех приведенных в таблице элементов на порядок меньше, чем в почвах. Исключение составляет концентрация Hg, которая сопоставима по величине с концентрацией в почве.

Для характеристики степени атмохимического воздействия на исследуемую территорию используют различные виды нормировок концентраций элементов: нормировку на кларк химических элементов верхней части земной коры, нормировку на фоновое значение, на концентрацию в почве и т. д. [2, 8, 9]. В настоящей работе использована нормировка на значение кларка (по А. А. Беусу) для верхней части земной коры, а концентрация в лишайниках была приведена к значениям фоновой концентрации.

На рисунке 2 приведено распределение химических элементов в почве при нормировке на кларк элементов в верхней части земной коры. В наибольшей степени в почве концентрируются Cr, Cu, Co, Ni, As, т.е. элементы характерные для Норильско-Талнахского промышленного узла. Несколько иная картина характерна для распределения химических элементов в лишайниках. На рисунке 3 представлено распределение химических элементов в лишайниках при нормировке на фоновые значения [2, 8]. В наибольшей степени в лишайниках концентрируются Sr, V, Ti, Cr, Cu.

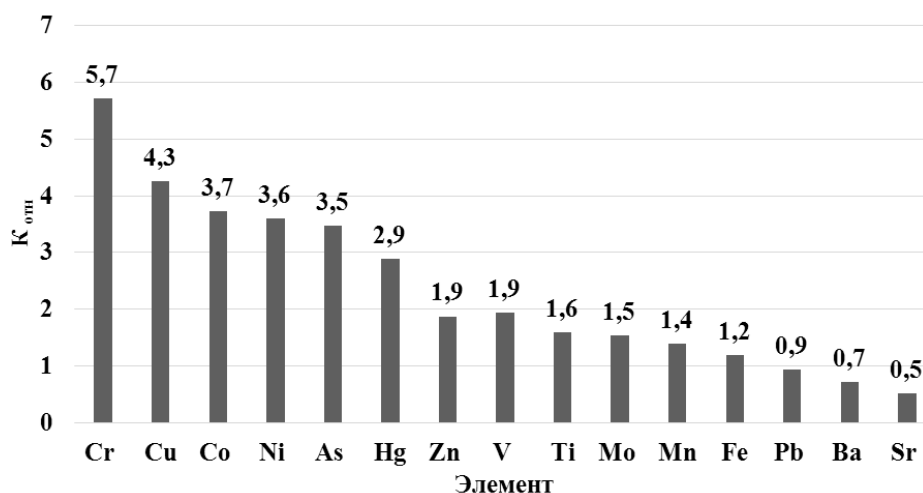


Рис. 2. Распределение химических элементов в почве при нормировке на кларк элементов в верхней части земной коры ($K_{отн}$)

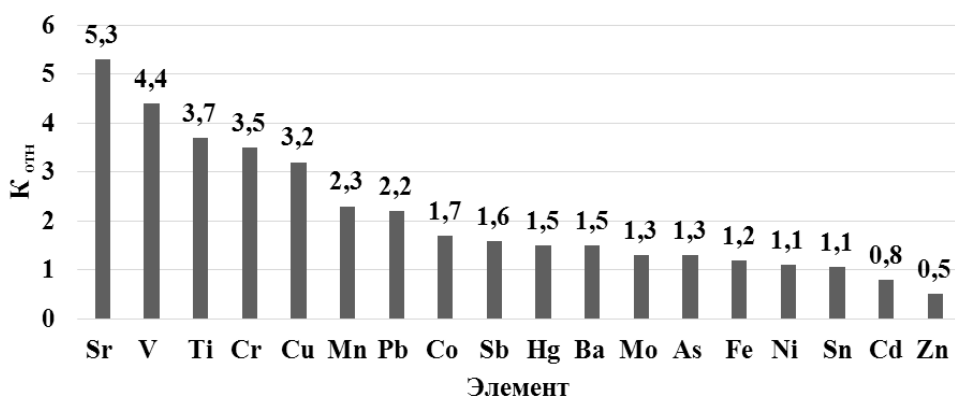


Рис. 3. Распределение химических элементов в лишайниках при нормировке на фоновые значения ($K_{отн}$)

Таким образом установлено, что в почвах в наибольшей степени накапливаются Sr, Cu, Co, Ni в концентрациях 3,6–5,7 раз превышающих кларковые значения, однако не достигающих ПДК. Характер накопления тяжелых и токсичных элементов в почвах и лишайниках различен. Следует отметить высокий коэффициент накопления стронция в лишайниках при низком его накоплении в почвах относительно кларка. Отсутствие накопления лишайниками тяжелых и токсичных элементов хорошо согласуется с розой ветров в районе наблюдений, имеющей преимущественно северо-западное и юго-восточное направление и минимальное в направлении юго-запада, где расположена исследованная территория.

Библиографический список

1. Большунова В. С., Рихванов Л. П., Барановская Н. В. Элементный состав лишайников как индикатор загрязнения атмосферы // Экология и промышленность России. 2014. № 11. С. 26–31. doi: 10.18412/1816-0395-2014-11-26-31
2. Большунова В. С., Рихванов Л. П., Барановская Н. В. К вопросу о выборе фоновых концентраций химических элементов в лишайниках – эпифитах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 9. С. 33–49.
3. Сухарева Т. А. Оценка состояния сосновых лесов в зоне влияния медно-никелевых комбинатов при уменьшении эмиссионной нагрузки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 3. С. 1072–1076.
4. Поиск информативных биохимических тестов в практике экологического мониторинга особо опасных объектов / А. И. Иванов, Т. А. Дунаева, Е. А. Домнина, Т. Я. Ашихмина, Г. П. Дудин // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 4. С. 94–98. doi: 10.25750/1995-4301-2011-4-094-098
5. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнений.
6. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
7. Пчелкин А. В., Боголюбов А. С. Методы лишеноиндикации загрязнений окружающей среды. Методическое пособие. М.: Экосистема, 1998. 25 с.
8. Биомониторинг атмосферных выпадений на островах Российского сектора Арктики при помощи мхов и лишайников / А. В. Горбунов, С. М. Ляпунов, О. И. Окина, В. С. Шешуков, М. В. Фронтасьева, С. С. Павлов // Проблемы региональной экологии. 2017. № 4. С. 5–15.

9. Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии. Теория и методология // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 1. С. 7–17.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ИОНОСЕЛЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

А. В. Ёлкина¹, Г. Я. Кантор^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет, stud142705@vyatsu.ru*

² *Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук*

В статье представлены результаты исследования чувствительности различных ионоселективных электродов, которые можно использовать для определения качества поверхностных вод, к ионам, характерным для загрязнения минеральными удобрениями. Выявлено влияние совместного присутствия ионов в растворе на ЭДС элементов системы «ионоселективный электрод – хлорсеребряный электрод».

Ключевые слова: потенциометрия, ионоселективные электроды, неорганические ионы, чувствительность, поверхностные воды.

Потенциометрия является перспективным методом для использования в экологическом мониторинге, благодаря высокой скорости измерения, дешевизне аппаратуры и возможности автоматизации [1–3]. Для исследования состава поверхностных вод представляет интерес многоканальный иономер Эксперт-001-3 из-за возможности одновременного подключения нескольких ионоселективных электродов [4]. Для обнаружения загрязнения воды минеральными удобрениями (калийными, аммонийными, нитратными или комплексными) логично использовать электроды чувствительные к ионам натрия, аммония, хлоридам и нитратам.

Проведено исследование чувствительности к мешающим ионам натрий-селективного (ЭЛИС-112Na), аммоний-селективного (ЭЛИС-121NH₄), хлорид-селективного (ЭЛИС-131Cl) и нитрат-селективного электродов (ЭЛИС-121NO₃). Для оценки проведено измерение ЭДС элементов в системе «ионоселективный электрод – хлорсеребряный электрод (ЭСр-10107)», опущенных в растворы, содержащие две пары ионов при одновременном их присутствии с концентрациями в пределах от 10⁻⁴ до 10⁻² моль/дм³. На основании величины коэффициента корреляции между значением концентрации ионов и ЭДС сделаны выводы о селективности выбранных электродов относительно собственных и мешающих ионов.

Значение ЭДС системы «натрий-селективный электрод – хлорсеребряный электрод» (табл. 1) закономерно увеличивается с увеличением концентрации иона натрия ($R^2 = 0,9649$). Что касается реакции натрий-селективного электрода на изменение концентрации аммоний-иона при постоянной концен-

трации ионов натрия, то серьезное влияние мешающие ионы оказывают только при очень низкой концентрации Na^+ (10^{-4} моль/дм³), их влияние значительно уменьшается при повышении содержания соответствующего последнего.

Таблица 1

Значения ЭДС (мВ) системы из натрий-селективного и хлорсеребряного электродов, опущенных в раствор, содержащий ионы натрия и аммония

pNH_4^+ \ pNa^+	2	3	4
2	-51,38	-79,89	-99,67
3	-46,75	-93,48	-111,68
4	-46,44	-96,44	-119,19

Для ионов аммония (табл. 2) наблюдается несколько иная картина: имеется очень высокая степень корреляции между значением концентрации иона аммония в растворе и ЭДС ($R^2 = 0,9923$), но при этом аммоний-селективный электрод практически не реагирует на увеличение концентрации ионов натрия даже до концентрации последнего равной 10^{-4} моль/дм³. Это свидетельствует о высокой селективности аммонийного электрода и его низкой чувствительности к ионам натрия, т.е. при определении ионов аммония практически отсутствует мешающее влияние ионов натрия.

Таблица 2

Значения ЭДС (мВ) системы из аммоний-селективного и хлорсеребряного электродов, опущенных в раствор, содержащий ионы натрия и аммония

pNH_4^+ \ pNa^+	2	3	4
2	298,74	298,98	295,83
3	244,30	240,10	241,85
4	181,60	186,67	196,98

Зависимость потенциала нитрат-селективного электрода от концентрации нитрат-ионов (табл. 3) характеризуется величиной коэффициента детерминации $R^2 = 0,9790$. Присутствие хлорид-ионов оказывает незначительное мешающее действие, так что селективность нитратного электрода по отношению к изучаемому в данной работе мешающему иону можно считать высокой.

Таблица 3

Значения ЭДС (мВ) системы из нитрат-селективного и хлорсеребряного электродов, опущенных в раствор, содержащий хлорид- и нитрат-ионы

pNO_3^- \ pCl^-	2	3	4
2	387,76	386,77	390,15
3	441,48	439,30	436,56
4	482,61	480,63	469,98

Линейность показаний для хлорид-селективного электрода с примесью нитратов (табл. 4) выше, чем у нитрат-селективного электрода с примесями хлорид-ионов ($R^2 = 0,9844$), но при этом влияние нитрат-ионов на потенциал хлорид-селективного электрода оказывается значительным.

Таблица 4

Значения ЭДС (мВ) системы из хлорид-селективного и хлорсеребряного электродов, опущенных в раствор, содержащий хлорид- и нитрат-ионы

$p\text{NO}_3^- \backslash p\text{Cl}^-$	2	3	4
2	127,45	169,24	174,42
3	126,38	180,59	202,88
4	125,93	198,49	214,71

По полученным данным можно сделать вывод, что натрий-селективный электрод более чувствителен к ионам аммония, чем аммоний-селективный к ионам натрия, а хлорид-селективный более чувствителен к нитрат-ионам, чем нитрат-селективный к хлорид-ионам. Самым селективным среди анализируемых электродов оказался аммоний-селективный, а самым чувствительным к примесям – натрий-селективный электрод. Анализ чувствительности изученных электродов к мешающим ионам свидетельствует, что при потенциометрическом измерении концентрации ионов натрия и нитрата необходимо учитывать влияние мешающих ионов и вносить соответствующие поправки в результаты измерения.

Библиографический список

1. Камман К. Работа с ионоселективными электродами. М. : Мир, 1980. 283 с.
2. Дарст Р., Ричард А. Ионселективные электроды М. : Мир, 1972. 432 с.
3. Кантор Г. Я., Селезнев Р. В., Кантор Е. В. Мембранный потенциал твёрдоконтактного ионоселективного электрода (теория и численное моделирование) // Теоретическая и прикладная экология. 2016. № 1. С. 14–19. doi: 10.25750/1995-4301-2016-1-020-026
4. Голованов И. В. Погрешности линейной аппроксимации в прямой ионометрии // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2013. № 1 (5). С. 15–22.

ПОГРУЖНОЙ ФОТОКОЛОРИМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЦВЕТНОСТИ И МУТНОСТИ ВОДЫ ПРИРОДНЫХ ВОДОЕМОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Т. И. Кутявина¹, Г. Я. Кантор^{1, 2}

¹ Вятский государственный университет, kutyavinati@gmail.com

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com

Представлена конструкция простого измерительного прибора, предназначенного для оценки чистоты воды, а также плотности фитопланктона в полевых условиях (*in situ*).

Ключевые слова: погружной фотометр, мутность, цветность, фитопланктон.

При выполнении исследований процессов эвтрофикации природных и искусственных водоёмов важная роль принадлежит оценке экологического состояния фитопланктона – продуцента первичного органического вещества и активного компонента биологического самоочищения вод, в то же время являющегося индикатором загрязнения воды [1, 2]. При изучении фитопланктона особое значение имеют его видовой состав, плотность, распределение по глубине и акватории. Традиционный способ исследования состоит в отборе проб воды из водоёма и лабораторном анализе проб (фотометрический анализ цветности и мутности, оптическая микроскопия). При низкой плотности фитопланктона микроскопический анализ требует отбора большого объёма проб и длительной пробоподготовки, что ограничивает количество проб и объём информации о состоянии водоёма. В этом отношении методы *in situ* обладают значительным преимуществом, которое заключается в возможности получения больших объёмов информации и её экспресс-обработки в полевых условиях без отбора проб и проведения пробоподготовки.

Погружные приборы позволяют с высокой точностью измерять оптические характеристики чистой воды за счёт большой длины оптического тракта (десятки сантиметров и метры), что бывает затруднительно в лабораторных условиях при стандартном размере кюветы 1–5 см.

Мы предлагаем простую конструкцию погружного фотометра-колориметра, позволяющего определять оптическую плотность большой толщи воды (до 5 м) в трёх узких спектральных диапазонах (красном, зелёном и синем), чаще всего используемых при изучении водных объектов для определения пигментов фитопланктона и прозрачности/мутности воды [3–6].

Основу прибора составляет треугольная пластина из водостойкого пластика, по углам которой расположены мощные светоизлучающие диоды ARPL-STAR-3W: EPL42 (красного свечения, 620–630 нм), EPS45 (зелёного свечения, 520–530 нм), GES45 (синего свечения, 460–470 нм). Потребляемая мощность каждого светодиода 3 Вт, номинальный ток 700 мА. Питание диодов осуществляется по гибкому кабелю, размеченному цветными термоусадочными трубками через 10 см. Источниками энергии служат ионно-литиевые аккумуляторы типоразмера 18650 ёмкостью 1500 мА·ч с электронной стабилизацией тока. Одной зарядки аккумуляторов хватает на два часа непрерывной работы. Аккумуляторы и схемы стабилизации размещены в пластиковом боксе, на верхнюю грань которого выведены три тумблера, позволяющие включать светодиоды как по одному, так и вместе. Общий вид прибора приведён на рисунке 1.

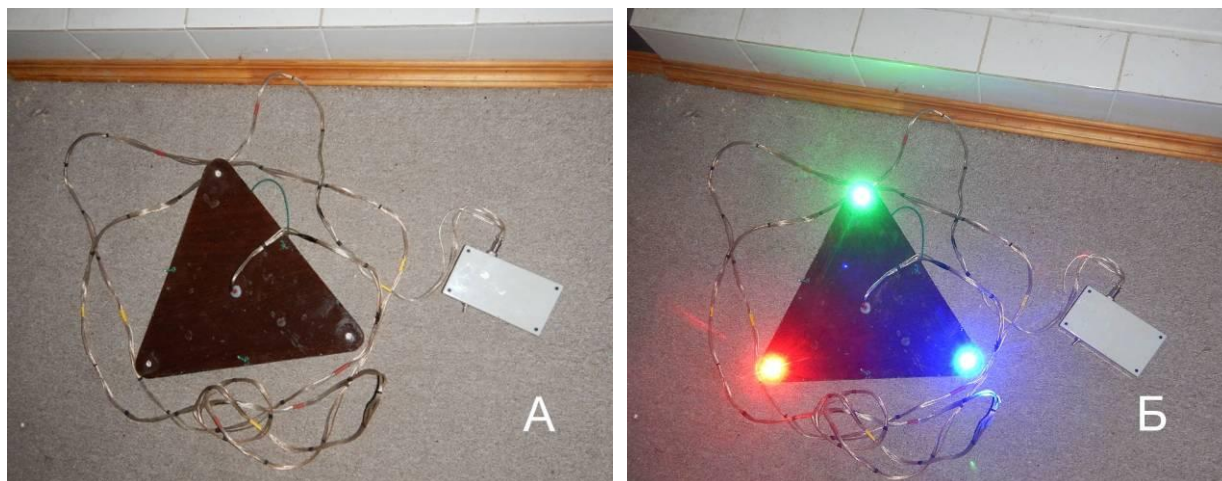


Рис. 1. Общий вид погружного фотоколориметра:

А – с выключенными светодиодами;

Б – со включёнными светодиодами

Регистрация поглощения и рассеяния света в воде осуществляется цифровой фотокамерой, приспособленной для съёмки под водой (один из лучших вариантов – фотокамера Nikon AW-130 или аналогичная).

Испытание прибора проводилось путём погружения в ёмкость с водой, в которой размещались различные дозы плотной суспензии одноклеточных зелёных водорослей с преобладанием *Chlorella vulgaris* Beij. Начальный объём воды в ёмкости 60 л, объём одинарной порции суспензии – 6 л. На рисунке 2 представлены фотографии погружённого в воду включённого прибора при 6 разных дозах суспензии.

На фотографиях (рис. 2) хорошо видно, что по мере увеличения плотности фитопланктона уменьшается интенсивность и увеличивается размер ореола вокруг изображения светодиода. Особенно отчётливо уменьшение интенсивности заметно на синем светодиоде, что соответствует жёлто-зелёному цвету суспензии водоросли. Из литературных данных [4, 6, 7] известно, что оптические характеристики различных отделов водорослей и цианобактерий отличаются. Это даёт возможность определять качественный состав фитопланктона с помощью погружного фотометра-колориметра непосредственно во время выполнения экспедиционных работ на водоёмах. Следует отметить, что полученный результат имеет предварительный качественный характер. Испытание погружного колориметра в полевых условиях и его количественная калибровка намечены на летний сезон 2023 года.

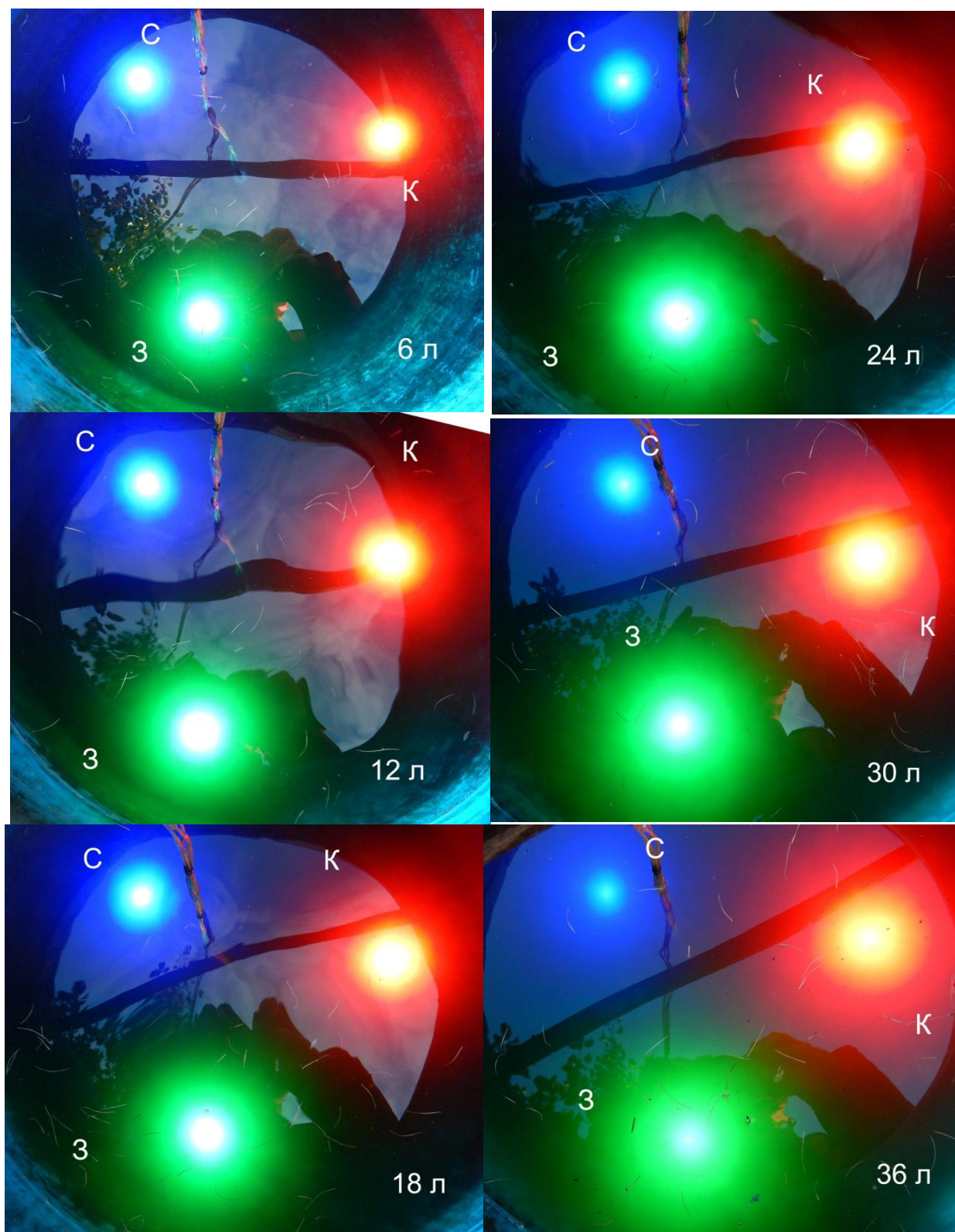


Рис. 2. Фотографии светящихся светодиодов при различной плотности фитопланктона. В правом нижнем углу указан объём добавленной суспензии хлореллы. Буквами К, З и С обозначен цвет свечения светодиодов (красный, зелёный и синий соответственно)

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-5830.2021.1.5).

Библиографический список

1. Ташлыкова Н. А., Афонина Е. Ю. Развитие планктонных сообществ в условиях антропогенной гидротермалы // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 3. С. 48–54. doi: 10.25750/1995-4301-2018-3-048-054
2. Баринова С. Экологические предпочтения цианобактерий в градиенте макроклиматических факторов и загрязнения // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 51–57. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-051-057
3. Исследования спектральной прозрачности воды и концентрации хлорофилла в пойменном озере (бассейн верхней Оби, Алтайский край) / И. А. Суторихин, В. И. Бука-тый, А. В. Котовщиков, О. Б. Акулова // Известия АлтГУ. 2012. № 1–1. С. 226–228.
4. Намсараев З. Б., Сергеева Я. Э. Использование спектрофотометрии для изучения вспомогательных пигментов фотосинтезирующих микроорганизмов // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 35–41. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-035-041
5. Применение методов обработки и анализа космических снимков для изучения эвтрофированных водоёмов (обзор) / Т. И. Кутявина, Г. Я. Кантор, Т. Я. Ашихмина, В. П. Савиных // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 14–25. doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-014-025
6. Толкаченко Г. А., Мартынов О. В., Шибанов Е. Б. Методика измерений спектральной яркости культур фитопланктона // Системы контроля окружающей среды : сб. науч. трудов. Севастополь : МГИ НАН Украины, 2001. С. 47–56.
7. Кутявина Т. И., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я. Использование нормализованного относительного альгоиндекса для оценки «цветения» воды в водохранилищах Вятско-Камского Предуралья // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 60–65. doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-060-065

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ МЕТОДОВ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

О. А. Плотникова

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., plotnikova_o_a@mail.ru*

В статье описано применение люминесцентных методов для определения различных групп веществ в объектах окружающей среды. Рассмотрено применение различных способов, позволяющих улучшить характеристики люминесцентного анализа, например, использование самоорганизующихся супрамолекулярных систем, тяжелых металлов и др.

Ключевые слова: люминесцентные методы, определение экотоксикантов, экологический мониторинг.

Люминесцентная спектроскопия характеризуется высокой чувствительностью, относительной селективностью и простотой анализа. Люминесцент-

ные методы основаны на измерении интенсивности свечения атомов, ионов, молекул и других частиц при их возбуждении различными видами энергии.

Известно несколько тысяч веществ, обладающих способностью люминесцировать, что может быть использовано в целях их обнаружения и аналитического определения. Кроме того, некоторые не люминесцирующие вещества можно перевести в люминесцирующие в результате адсорбции или абсорбции этих соединений, при охлаждении растворов, или химических превращений. Флуоресцентная спектрометрия широко применяется для количественного анализа многих соединений в биологических, биомедицинских, гидрологических и экологических исследованиях [1, 2].

Люминесцентные методы могут использоваться для скрининга проб окружающей среды на наличие органических загрязнителей [3]. Преимущества заключаются в том, что быстрые предварительные результаты, полученные во время полевых исследований, могут значительно сократить количество проб, отправляемых в аналитическую лабораторию для более дорогостоящего традиционного анализа.

Спектры излучения сложных молекул при обычных условиях могут иметь весьма размытую колебательную структуру. Разрабатываются различные методы, позволяющие улучшить характеристики люминесцентного анализа, например, использование самоорганизующихся супрамолекулярных систем [4], тяжелых металлов [5], низких температур [6] или адсорбции исследуемых веществ на поверхности сорбента [7] и др. В случае сложных проб окружающей среды область применения флуориметрического анализа может быть расширена при использовании синхронной флуоресцентной спектрометрии [8].

Для анализа объектов окружающей среды могут применяться два типа люминесцентных систем: в стационарном режиме и в сочетании с различными методами (жидкостной хроматографией, капиллярным электрофорезом и проточно-инжекторным анализом и др.) [9].

Токсичными стойкими загрязнителями, которые можно обнаружить люминесцентными методами, являются ПХБ и их смеси, а также ПХДФ [10]. Стало возможным определять их при низких уровнях концентраций люминесцентными методами, применяя самоорганизующиеся системы на основе мицелл и циклодекстринов и твердые поверхности для ТФЭ и анализа.

Люминесцентными методами можно определять ряд пестицидов. Несмотря на то, что большинство пестицидов обладают относительно слабой флуоресценцией, усилить аналитический сигнал возможно, например, используя организованные среды (мицеллы и циклодекстрины). В последние годы для экологического мониторинга востребована разработка сенсоров на основе квантовых точек [11]. Материалы с квантовыми точками обладают уникальными оптическими свойствами и имеют высокий квантовый выход.

К чрезвычайно важному классу загрязнителей относятся летучие ароматические углеводороды (например, толуол, ксилол, бензол, нафталин и др.). Большинство ароматических соединений обладают некоторой флуоресценци-

ей, однако характеризуются невысокими значениями квантового выхода. Для обнаружения бензола предложено использовать явление тушения флуоресценции комплексного соединения на основе Zn (II) [12].

С помощью флуоресцентного детектирования можно определять поверхностно-активные вещества. В работе [13] применены два типа люминесцентных металлоорганических каркасов в качестве чувствительных элементов датчиков для обнаружения пяти анионных сульфонатных поверхностно-активных веществ и их смесей.

Люминесцентные методы также могут быть применены для определения некоторых токсичных металлов и ионов металлов, присутствующих в следовых количествах в окружающей среде. Эти методы обычно основаны на образовании комплексов (хелатов) между исследуемым ионом металла и флуоресцентным (или фосфоресцентным) органическим реагентом (лигандом), что приводит либо к усилению люминесценции, либо к тушению флуоресценции (или фосфоресценции), и измерению изменения интенсивности люминесценции от концентрации металла [14].

Однако среди люминесцирующих, загрязняющих окружающую среду веществ можно особо выделить полициклические ароматические углеводороды. Данные вещества относятся к особо опасным экотоксикантам. Анализ этих соединений представляет собой важнейшее приложение люминесцентной спектроскопии [15].

В итоге можно заключить, что люминесцентная спектроскопия является очень полезным и распространенным методом определения ряда загрязнителей окружающей среды с целым перечнем важных преимуществ, включая большие линейные динамические диапазоны определяемых концентраций и низкий предел количественного обнаружения.

Библиографический список

1. Valeur B., Berberan-Santos M. N. *Molecular fluorescence: principles and applications*. John Wiley & Sons, 2012. 592 p.
2. Плотникова О. А. Усовершенствование флуориметрического метода для определения полициклических ароматических углеводородов в объектах окружающей среды // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 44–48. doi: 10.25750/1995-4301-2021-2-044-048
3. Rapid, fluorescence-based field screening technique for organic species in soil and water matrices / A. L. Russell, D. P. Martin, M. F. Cuddy, A. J. Bednar // *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 2016. Vol. 96. No. 6. P. 773–778.
4. Alarfaj N. A., El-Tohamy M. F. Applications of micelle enhancement in luminescence-based analysis // *Luminescence*. 2015. Vol. 30. No. 1. P. 3–11.
5. Metal-enhanced luminescence: current trend and future perspectives – A review / R. Ranjan, E. N. Esimbekova, M. A. Kirillova, V. A. Kratasyuk // *Analytica chimica acta*. 2017. Vol. 971. P. 1–13.
6. Naumov A. V. Low-temperature spectroscopy of organic molecules in solid matrices: from the Shpol'skii effect to laser luminescent spectromicroscopy for all effectively emitting single molecules // *Physics Uspekhi*. 2013. Vol. 56. No. 6. P. 605.
7. Hurlbut R. J. Solid-matrix luminescence analysis: photophysics, physicochemical interactions and applications // *Analytica chimica acta*. 1997. Vol. 351. No. 1–3. P. 1–22.

8. Patra D., Mishra A. K. Recent developments in multi-component synchronous fluorescence scan analysis // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2002. Vol. 21. No. 12. P. 787–798.
9. Luminescence methods for study and determination of pollutants in the environment / T. V. Morales, S. M. Esponda, J. J. S. Rodríguez, S. E. Aaron, J. J. Aaron // *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2010. Vol. 29. P. 1–42.
10. Fluorescence behaviour of polychlorinated dibenzofurans in organized molecular systems. Analytical applications / J. H. García, Z. S. Ferrera, A. J. Martin-Lazaro, J. J. S. Rodriguez // *Microchimica Acta*. 1995. Vol. 118. No. 3–4. P. 185–196.
11. Nsibande S. A., Forbes P. B. C. Fluorescence detection of pesticides using quantum dot materials—a review // *Analytica Chimica Acta*. 2016. Vol. 945. P. 9–22.
12. A blue luminescent star-shaped Zn (II) complex that can detect benzene / J. Pang, E. J. P. Marcotte, C. Seward, R. S. Brown, S. Wang // *Angewandte Chemie*. 2001. Vol. 113. No. 21. P. 4166–4169.
13. Conversion of fluorescence signals into optical fingerprints realizing high-throughput discrimination of anionic sulfonate surfactants with similar structure based on a statistical strategy and luminescent metal–organic frameworks / Z. Sun, Y. Z. Fan, S. Z. Du, Y. Z. Yang, Y. Ling, N. B. Li, H. Q. Luo // *Analytical chemistry*. 2020. Vol. 92. No. 10. P. 7273–7281.
14. Chakraborty I., Udayabhaskararao T., Pradeep T. Luminescent sub-nanometer clusters for metal ion sensing: A new direction in nanosensors // *Journal of hazardous materials*. 2012. Vol. 211. P. 396–403.
15. Rodriguez J. J. S., Sanz C. P Fluorescence techniques for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine environment: an overview // *Analisis*. 2000. Vol. 28. No. 8. P. 710–717.

СРАВНЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОДИК КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛИЦИНА В ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТАХ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВКАХ

К. А. Карпова, А. И. Фокина

Вятский государственный университет, karpova.ksyunya01@mail.ru

Глицин – неотъемлемый компонент белков и участник многих важных процессов в организме человека. В представленной работе рассмотрен вопрос сравнения методов количественного определения глицина: титрованием хлорной кислотой и спектрофотометрическое определение после реакции глицина с нингидрином.

Ключевые слова: глицин, количественное определение, титрование, хлорная кислота, спектрофотометрия, нингидрин.

Глицин является важной составляющей ДНК и РНК, а они, в свою очередь, выступают генетическим строительным материалом, без которого невозможно функционирование организма [1, 2].

Глицин является уникальным препаратом класса регуляторов метаболизма, который также можно отнести к нейромодуляторам. На данный момент глицин рекомендуется как средство, улучшающее метаболические про-

цессы в мозге, оказывающее положительное влияние при депрессивных нарушениях, повышенной раздражительности, нарушениях сна [3].

Для проведения аналитического контроля содержания глицина в препаратах, актуально использовать метод анализа, отличающийся простотой, экспрессностью, экономичностью. Важно, чтобы метод подходил для определения глицина в препаратах с различным составом.

Цель работы – сравнение метрологических характеристик методов количественного определения глицина в различных препаратах.

В качестве методов исследования были выбраны: титрование хлорной кислотой и спектрофотометрическое определение глицина с помощью нингидриновой реакции. Исследуемые препараты: «Глицин Форте Эвалар» («Эвалар», Россия); «ГЛИЦИН комплекс Mg B6» («ВТФ», Россия); «Глицин» («Биотики», Россия).

Для определения глицина титрованием хлорной кислотой навеску препарата глицина растворяли в муравьиной кислоте, прибавляли уксусную ледяную кислоту, после растворения препарата титровали 1 М раствором хлорной кислоты, индикатор – кристаллический фиолетовый.

При титровании хлорной кислотой были использованы два метода: метод добавок и метод совместно с разбавлением пробы. В результате метода добавок получены данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Метрологическая характеристика результатов определения глицина методом добавок (титриметрия)

Опорное, мг	Найденное, мг	Среднее найденное, мг	Δ	SD, %	RSD, %	Открываемость, %
«Глицин»						
187,7	178,6	183,1	11,4	4,5	2,4	95–100
	183,1					
	187,6					
«Глицин Форте Эвалар»						
187,7	198,6	196,9	8,1	3,3	1,7	102–106
	198,9					
	193,1					
«Глицин Комплекс Mg B6»						
187,7	205,1	206,9	3,8	1,5	0,7	109–111
	208,1					
	207,4					

Результаты, полученные методом добавок совместно с разбавлением пробы, представлены в таблице 2.

В качестве опорного значения взята теоретическая масса глицина, которая была использована. Найденное значение – это масса, которая получилась в результате анализа.

Методом добавок и методом добавок с разбавлением пробы получают сопоставимые результаты для препарата «Глицин Форте Эвалар», но для пре-

паратов «Глицин» и «Глицин Комплекс Mg B6» открываемость разнится примерно на 4%. RSD при применении обоих приемов не превышает 2%.

Таблица 2

Метрологическая характеристика результатов определения глицина методом добавок совместно с разбавлением пробы (титриметрия)

Опорное, мг	Найденное, мг	Среднее найденное, мг	Δ	SD %	RSD %	Открываемость, %
«Глицин»						
187,7	178,4	178,2	0,5	0,1	0,1	94–95
	178,0					
	178,1					
«Глицин Форте Эвалар»						
187,7	198,6	198,4	0,5	0,2	0,1	105–106
	198,2					
	198,4					
«Глицин Комплекс Mg B6»						
187,7	213,2	213,8	3,9	1,6	0,7	103–105
	215,6					
	212,6					

Результаты, полученные методом спектрофотометрии, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Метрологическая характеристика результатов определения глицина спектрофотометрическим методом

Опорное, %	Найдено, %	Среднее,%	Δ	SD, %	RSD, %	Открываемость, %
«Глицин»						
100,00	104,30	104,23	0,82	0,33	0,32	103–105
	103,88					
	104,53					
«Глицин Форте Эвалар»						
50,10	55,68	55,28	2,09	0,84	1,52	108–112
	54,31					
	55,85					
«Глицин Комплекс Mg B6»						
53,57	56,71	57,31	1,35	0,54	0,94	105–108
	57,77					
	57,45					

Использован метод градуировочного графика. Рабочая область линейности – 0,0025–0,02 мг глицина/мл. Состав реакционной смеси: 5 мл раствора, содержащего глицин, 2,5 мл 0,2% нингидрина в ацетоне. Смесь нагревали в течение 20 минут на водяной бане при температуре 90 °С. Аналитическая длина волны – 400 нм, $l = 1$ см.

В качестве опорного значения взято теоретическое процентное содержание глицина в одной таблетке препаратов. Найденное же значение – это процентное содержание, которое получилось в результате эксперимента.

Для данной методики RSD так же не превышает 2%.

Выводы: 1. Установлено, что для обеих методик существуют факторы, которые существенно влияют на результаты анализа: титриметрия – следовые количества воды, спектрофотометрия – физические факторы пробоподготовки.

2. Для избегания мешающего влияния воды для титриметрической методики впервые применены приемы получения результатов методом добавок и методом добавок совместно с разбавлением пробы. Установлено, что оба приема дают сопоставимые результаты, RSD менее 2%, что отвечает требованиям фармакопеи. Методом добавок с разбавлением пробы удастся получать результаты с меньшим значением RSD.

4. Метод спектрофотометрии оказался менее точным. Однако, применение в методике титриметрического определения больших количеств уксусной и муравьиной кислот, делает актуальным доработку методики спектрофотометрического определения.

Библиографический список

1. Тедеева М. Е. Глицин [Электронный ресурс] – URL: <https://foodandhealth.ru/komponenty-pitaniya/glicin/> (дата обращения: 30.10.2022).
2. Применение аминокислот и их хелатных комплексов с микроэлементами в питании растений (обзор) / Д. В. Петухов, Е. С. Измestьев, А. В. Сазанов, М. А. Зайцев, Е. В. Товстик // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 167–174. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-167-174
3. Макарова Л. М., Погорелый В. Е. Современный взгляд на роль глицина в организме и его возможный терапевтический потенциал // Состояние, проблемы, перспективы развития современной науки и образования. Петрозаводск : Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И. И.), 2021. С. 199–219.

СЕКЦИЯ 2

МЕТОДЫ БИОДИАГНОСТИКИ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО БИОТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕДА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Е. А. Луцай^{1,2}, Е. И. Тихомирова¹

¹ *Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., tichomirova_ei@mail.ru*

² *Государственный научно-исследовательский институт
промышленной экологии, lea_rs@mail.ru*

В статье представлен опыт применения комплексного биотестирования при инвентаризации объектов накопленного экологического вреда на территории Республики Крым. Проведено обследование 25 полигонов и 129 несанкционированных свалок твердых коммунальных отходов. Разработан алгоритм оценки качества компонентов окружающей среды методом комплексного биотестирования с использованием аттестованных авторских методик.

Ключевые слова: биотестирование, компоненты окружающей среды, объекты накопленного экологического вреда.

Одной из центральных задач государственной политики в области экологического развития является восстановление нарушенных естественных экологических систем. Решение данной задачи предусматривает использование различных механизмов, в том числе, реализацию программ, направленных на минимизацию негативного воздействия на окружающую среду и ликвидацию экологического вреда, связанного с прошлой экономической и иной деятельностью, а также организацию работ по оценке и поэтапной ликвидации экологических последствий прошлой экономической и иной деятельности [1, 2].

В последние десятилетия созданная система экологического контроля и мониторинга имеет характерную структуру, которая ранее в России никогда не применялась [3, 4]. Большое значение отведено биолaborаториям, проводящим прямой анализ токсичности природных объектов по аттестованным методикам на биообъектах, что дает возможность адекватно оценить качество окружающей среды, и, является задачей комплексного экологического мониторинга.

Крым характеризуется большим разнообразием природных условий и ландшафтов. В XX столетии на всей территории Крыма происходили процессы интенсивной индустриализации и интенсивной добычи природных ресурсов. Развивались промышленность, сельское хозяйство и транспорт. В последние два десятилетия эти процессы замедлились, но оставили после себя наследие в виде значительного накопленного экологического вреда для окружающей среды и здоровья населения, включая значительное количество бесхозных объектов и брошенных территорий, находящихся в кризисном экологическом состоянии.

Для принятия стратегических решений на федеральном уровне по решению экологических проблем на территории Республики Крым и г. Севастополь необходимо было проведение работы по инвентаризации объектов накопленного экологического вреда, образовавшихся в результате прошлой хозяйственной деятельности, для последующей разработки проекта Программы по их ликвидации. Проведение инвентаризации объектов накопленного экологического вреда включало в себя также оценку токсичности и определение класса опасности отобранных проб накопленных веществ, конструкционных материалов, отходов, почвы с использованием метода биотестирования [5, 6].

Работа выполнялась в соответствии с государственным контрактом № 373100000215000024-0044666-01 в рамках реализации распоряжения Правительства Российской Федерации от 04.12.2014 г. № 2462р «Об утверждении комплекса первоочередных мероприятий, направленных на ликвидацию последствий загрязнений и иного негативного воздействия на окружающую среду в результате экономической и иной деятельности».

Были обследованы в 2015–2016 гг. следующие объекты на территории Республики Крым и города Севастополь: четыре бывших растворных узла приготовления пестицидов и ядохимикатов; шестнадцать бывших складов пестицидов и ядохимикатов и один действующий склад пестицидов и ядохимикатов; территории, занятые 25 полигонами твердых коммунальных отходов (ТКО) и 129 санкционированными и несанкционированными свалками. Проведены токсикологические исследования 160 проб почв с объектов ТКО и определение класса опасности 159 проб свалочных масс методом комплексного биотестирования.

Исследования на территории Крыма были разделены на этапы и проведены двумя аккредитованными экоаналитическими лабораториями: Федерального бюджетного учреждения «Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии» (ФБУ ГосНИИ ЭНП) и государственного автономного учреждения Республики Крым «Центр лабораторного анализа и технических измерений» (ЭЛ ГАУ РК «ЦЛАТИ»).

Экспериментальные исследования проводили на базе лаборатории биомониторинга и биотестирования ФБУ ГосНИИ ЭНП (г. Саратов) и НОЦ «Промышленная экология» СГТУ имени Гагарина Ю.А. При проведении собственных экспериментальных исследований акцент был сделан на совершен-

ствование методических подходов к экотоксикологической части биомониторинга. Нами были разработаны новые методические подходы для экспресс-оценки качества природных сред и негативного воздействия объектов накопленного экологического вреда на окружающую среду: «Способ биотестирования проб воды и устройство для его осуществления», «Устройство для экспресс-оценки качества природных сред» и «Устройство для комплексной оценки качества природных сред», подтвержденные патентами на полезные модели и изобретение [7].

Разработаны также методики определения токсичности по изменению двигательной активности дафний и цериодафний при повышенной температуре исследуемой среды, что особенно актуально при исследованиях в условиях жаркого климата [8].

Для выполнения всех запланированных исследований был разработан алгоритм оценки качества компонентов окружающей среды методом комплексного биотестирования, представленный на рисунке.

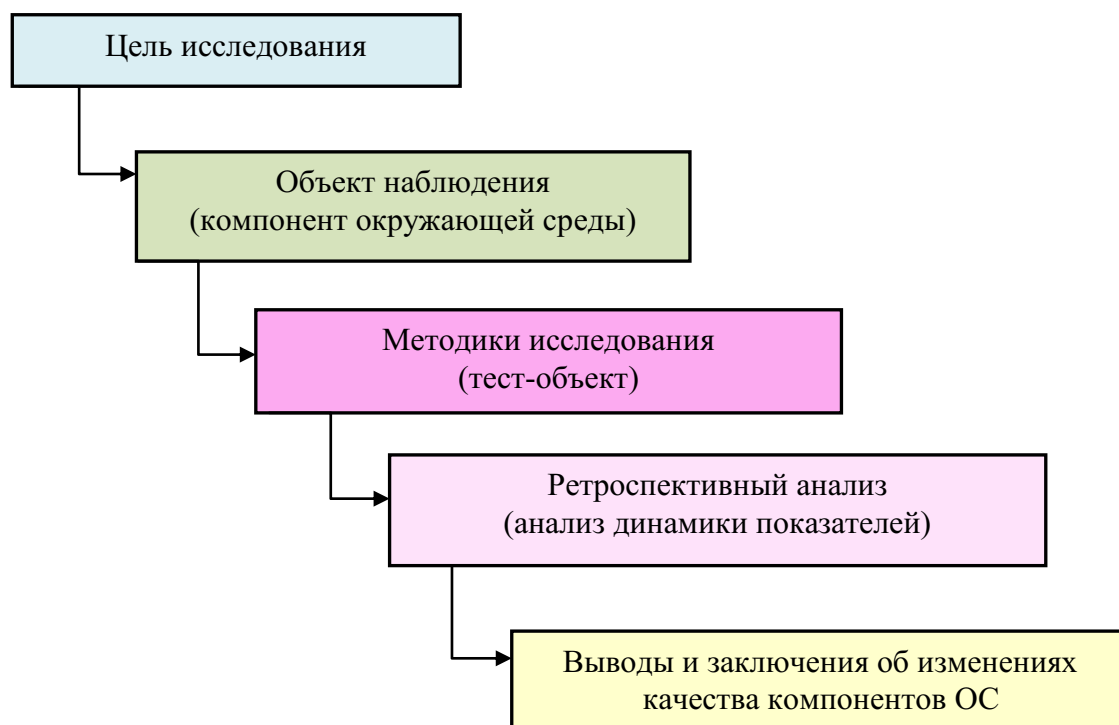


Рис. Алгоритм исследования качества компонентов окружающей среды методом комплексного биотестирования

Параллельно с методами, внесенными в Федеральный реестр [9–17], проводили оценку токсичности проб разработанной нами «Экспресс-методикой оценки токсичности воды, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по смертности дафний при повышении температуры культивационной среды» [18]. Данная методика определения острой токсичности питьевых, природных (грунтовых, поверхностных), сточных вод, а также водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов применяется в лабо-

раторных условиях с использованием в качестве тест-объекта низших ракообразных – *Daphnia magna* Straus. Основным критерием острой токсичности является смертность дафний при повышенной температуре культивационной среды. Методика измерений аттестована в соответствии с ФЗ 102 «Об обеспечении единства измерений» и ГОСТ Р 8.563-2009, свидетельство об аттестации № 222.0069/01.00258/2015 от 27.04.2015 г. Повышение температуры до +36 °С ускоряет физиологические процессы в организме дафний, что позволяет получить оценку токсичности среды в течение полутора часов экспонирования рачков.

При определении острой токсичности питьевых, сточных, природных (поверхностных, грунтовых) вод, а также водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов и их разбавлений с использованием данной методики также устанавливают:

- среднюю летальную кратность разбавления вод, водных вытяжек, вызывающую гибель 50 % тест-объектов за 1,5-часовую экспозицию (ЛКР_{50-1,5});
- безвредную кратность разбавления вод, водных вытяжек, вызывающую гибель не более 10 % тест-объектов за 1,5-часовую экспозицию (БКР_{10-1,5}).

Были использованы и другие аттестованные методики биотестирования [19–20] для проведения исследований 33 проб свалочных масс с полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) и 160 проб с несанкционированных свалок; определен класс опасности для окружающей природной среды; практически все пробы с полигонов и свалок были отнесены к 4 классу токсической опасности для окружающей природной среды. Был проведен также сравнительный анализ данных при исследовании 94 проб почвы и 25 проб отходов (с определением класса опасности). Следует отметить 100% совпадение результатов биотестирования по общепринятым методикам и с использованием разработанной нами системы экспресс-методов, включающей авторский способ и устройства для биотестирования.

Таким образом, в ходе выполнения работы по инвентаризации объектов накопленного экологического вреда, образовавшихся в результате прошлой хозяйственной деятельности на территории Республики Крым была доказана эффективность применения разработанной нами системы экспресс-методов и ее экономическая целесообразность, поскольку существенно сокращаются затраты при получении оперативных данных о состоянии окружающей среды.

Экспериментально определены параметры многокомпонентной системы биомониторинга и предложен оптимальный набор тест-объектов для экотоксикологической оценки состояния окружающей среды. Предложенные методы биотестирования (аттестованные в Росстандарте, 2015) позволяют сократить на 30% экономические и на 25% – временные затраты на экотоксикологические исследования.

По результатам работы разработаны рекомендации по внедрению комплексного экологического мониторинга для Республики Крым.

Библиографический список

1. Материалы предложений к Концепции Федеральной целевой программы «Ликвидация накопленного экологического ущерба на 2014–2025 годы» [Электронный ресурс]. – URL: <http://biotech2030.ru/.pdf> (дата обращения: 1.11.2022).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 04.12.2014 № 2462-р «Об утверждении комплекса первоочередных мероприятий, направленных на ликвидацию последствий загрязнения и иного негативного воздействия на окружающую среду в результате экономической и иной деятельности» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172034/ (дата обращения: 1.11.2022).
3. Ашихмина Т. Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия. Киров : Вятка, 2002. 544 с.
4. Оценка качества воды водоема-охладителя Балаковской атомной электростанции методами биомониторинга / В. Н. Чупис., Л. Л. Журавлева, Е. А. Луцкай, Н. В. Емельянова, Е. В. Ильина, Д. Е. Иванов // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 43–50. doi: 10.25750/1995-4301-2008-2-043-50
5. Приказ Росприроднадзора от 25.04.2012 №193 «Об утверждении методических рекомендаций по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=532522#Lam9yMTgCrP2oV11> (дата обращения: 1.11.2022).
6. ГОСТ Р 54003-2010. Оценка прошлого накопленного в местах дислокации организаций экологического ущерба. Общие положения [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200082700> (дата обращения: 01.11.2022).
7. Система биотестов для экологического мониторинга / Е. А. Луцкай, И. Н. Ларин, В. Н. Чупис // Экология и промышленность России, 2008. С. 44–45.
8. Lushchay E. A., Ivanov D. E., Tikhomirova E. I. Development and efficiency assessment of new methods on rapid assessment of toxicity in environmental monitoring // Povolzhskiy Journal of Ecology. 2019. No. 4. P. 458–469. doi: 10.35885/1684-7318-2019-4-458-469
9. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний [Электронный ресурс]. – URL: (ФР 1.39.2007.03221). <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293842/4293842244.htm> (дата обращения 01.11.2022).
10. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний [Электронный ресурс]. – URL: (ФР.1.39.2007.03222). <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293842/4293842234.htm> (дата обращения: 01.11.2022).
11. Методика определения токсичности вод и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флюоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей (ФР.1.39.2007.03223) [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293842/4293842245.htm> (дата обращения: 01.11.2022).
12. Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных вод экспресс-методом с применением прибора «Биотестер» (ФР.1.31.2005.01881) [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293758/4293758204.htm> (дата обращения: 01.11.2022).
13. Методика определения токсичности почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора «Биотестер» (ФР.1.31.2005.01882) [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293758/4293758202.htm> (дата обращения 01.11.2022).
14. Методика определения токсичности отходов производства и потребления экспресс-методом с применением прибора «Биотестер» (ФР.1.31.2005.01883) [Электронный

ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293758/4293758201.htm> (дата обращения 01.11.2022).

15. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (ФР.1.39.2004.01143) [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293763/4293763986.htm> (дата обращения: 01.11.2022).

16. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных и отходов по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «ЭКОЛИУМ» (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 Т 16.1:2.3:3.8-04) [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837368.htm> (дата обращения: 01.11.2022).

17. Методика выполнения измерений индекса токсичности почв, почвогрунтов, вод и отходов по изменению подвижности половых клеток млекопитающих *in vitro*. ФР.1.31.2009.06301 (ПНД Ф 14.1:2:4:15-09, 16.1:2:2.3:3.13-09) [Электронный ресурс]. – URL: <https://center-souz.ru/t-g-s/114-2012-02-29-01-52-10> (дата обращения: 01.11.2022).

18. Экспресс-методика оценки токсичности воды, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению спонтанной двигательной активности дафний (*Daphnia magna* Straus), (МВИ № 222.0068/01.00258/2015) [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293842/4293842234.htm> (дата обращения: 01.11.2022).

19. Экспресс-методика оценки токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности дафний (*Daphnia magna* Straus) при повышении температуры культивационной среды, (МВИ № 222.0069/01.00258/2015) [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293842/4293842234.htm> (дата обращения: 01.11.2022).

20. Экспресс-методика оценки токсичности воды, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности цериодафний (*Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg) при повышении температуры культивационной среды, (МВИ № 222.0070/01.00258/2015) [Электронный ресурс]. – URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293842/4293842244.htm> (дата обращения: 01.11.2022).

ИЗУЧЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА КРУПНЕЙШИХ ВОДОХРАНИЛИЩ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. И. Кутявина¹, Л. В. Кондакова^{1, 2}, Т. Я. Ашихмина^{1, 2}

¹ Вятский государственный университет, kutyavinati@gmail.com

² Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, ecolab2@gmail.com

В статье представлены результаты биоиндикационных исследований, проведенных на Белохолуницком и Омутнинском водохранилищах в июле и августе 2022 г. Отмечены преобладающие виды фитопланктона, встречающиеся на различных участках водохранилищ в разные периоды «цветения» воды.

Ключевые слова: биоиндикация, водохранилище, фитопланктон, эвтрофирование.

Фитопланктон играет важнейшую роль в водных экосистемах, так как является первичным продуцентом, участвует в формировании газового режима водного объекта, обмене кислорода, азота и диоксида углерода между атмосферой и гидросферой. Однако, водоросли и цианобактерии (ЦБ) могут быть и причиной негативных изменений состояния водной экосистемы, в частности: увеличения уровня трофности, «цветения» воды, зарастания и потери хозяйственного значения водного объекта [1]. В связи с этим, важное теоретическое и практическое значение имеет изучение фитопланктона различных водных объектов.

Цель нашей работы – определить доминирующие виды летнего фитопланктона в двух крупнейших водохранилищах Кировской области.

Объекты исследования – Белохолуницкое и Омутнинское водохранилища, расположенные в северо-восточной части региона. Подробная характеристика водохранилищ представлена в работе [2]. По величине внешнего водообмена оба водных объекта являются умеренно проточными, коэффициент водообмена Белохолуницкого водохранилища составляет 9,4; Омутнинского водохранилища – 4,4. По степени антропогенной нагрузки оба водохранилища условно были разделены на три участка: верховье, центральный и приплотинный. При этом наибольшая антропогенная нагрузка характерна для приплотинных участков водохранилищ, на берегах которых располагаются населённые пункты, промышленные объекты и автодороги.

Пробы воды для альгологического анализа отбирали с глубины 0–30 см. в июле и августе 2022 г. в период интенсивного развития фитопланктона на разных участках водохранилищ. Для фиксирования проб использовали 4%-ный раствор формалина. Для определения видов водорослей и ЦБ использовали микроскоп лабораторный Микмед-6 вариант 7.

Согласно полученным данным, в общем составе фитопланктона изучаемых водохранилищ преобладали Bacillariophyta и Chlorophyta, на локальных участках – Cyanobacteria. Доминирование данных отделов водорослей и ЦБ часто отмечается в водоёмах умеренных широт [3, 4]. Гораздо реже встречались представители Euglenophyta, Xanthophyta и Dinophyta.

Самый бедный видовой состав фитопланктона отмечен для приплотинных участков водохранилищ. Однако, именно на этих участках чаще всего за летний период мы отмечали «цветение» воды. Доминантом «цветения» в Белохолуницком водохранилище в июле 2022 г. были хлорококковые водоросли, также в пробах присутствовала ЦБ *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs.

В Омутнинском водохранилище в июле «цветение» вызывала ЦБ *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., также в пробах единично обнаружены *Staurastrum* sp. и *Melosira* sp. Известно, что *Aphanizomenon flos-aquae* и *Microcystis aeruginosa* являются наиболее часто встречаемыми возбудителями «цветения» воды в волжских водохранилищах и относятся к группе потенциально токсичных видов [3]. В августе 2022 г. в приплотинной части данного водохранилища вдоль береговой линии нами были обнаружены придонные большие скопления *Spirogyra* sp.

Более богатый видовой состав фитопланктона был характерен для мелководных хорошо прогреваемых акваторий с замедленным водообменом и илистым дном, расположенных в центральной части и в верховьях изучаемых водохранилищ.

На центральном участке Белохолуницкого водохранилища и при продвижении к верховью обнаружены диатомовые водоросли (*Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith, *Pinnularia* sp., *Navicula* sp.), зелёные водоросли (*Scenedesmus quadricauda* Chodat, *Sc. denticulatus* Lagerh., *Chlorococcum* sp., *Dictyosphaerium ehrenbergianum* Nägeli, *Chlorella vulgaris* Beijerinck, *Oocystis lacustris* Chodat, *Cosmarium* sp., *Coelastrum microporum* Nägeli, *Staurastrum* sp.) и эвгленовые водоросли (*Trachelomonas hispida* (Perty) Steinemend Defl., *Euglena* sp.).

В центральной части Омутнинского водохранилища отмечены: ЦБ (*Microcystis aeruginosa*), диатомовые водоросли (*Navicula* sp., *Melosira* sp., *Amphora* sp., *Surirella* sp., *Nitzschia palea*, *Cyclotella atomus* Hust.) и зелёные водоросли (*Scenedesmus quadricauda*, *Staurastrum* sp.).

Таким образом, в таксономическом составе фитопланктона Белохолуницкого и Омутнинского водохранилищ, как и в большинстве водоёмов умеренных широт, в летнее время преобладали представители отделов Chlorophyta и Bacillariophyta. «Цветение» воды вызывали ЦБ (*Microcystis aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae*), относящиеся к группе потенциально токсичных видов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-5830.2021.1.5).

Библиографический список

1. Коханистая Е. В. Фитопланктон как показатель состояния водных экосистем Пролетарского и Веселовского водохранилищ // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2014. № 5. С. 78–83.
2. Морфометрические, гидрохимические и биологические особенности водохранилищ Северо-Востока Кировской области / Т. И. Кутявина, Е. А. Домнина, Т. Я. Ашихмина, В. П. Савиных // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 2. С. 50–55. doi: 10.25750/1995-4301-2013-2-050-055
3. Состав и развитие цианобактерий Чебоксарского водохранилища и его притоков / Е. Л. Воденеева, А. Г. Охапкин, П. В. Кулизин, Н. А. Старцева, Е. М. Шарагина, О. О. Бондарев, Т. В. Лаврова // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 71–76. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-071-076
4. Формирование таксономического состава сообществ фитопланктона искусственных водоемов урбанизированных территорий (на примере Подмосковья) / Г. А. Анциферова, Р. М. Нкурунзиза, Н. И. Русова, Е. С. Галкина, В. В. Когаров, М. Ю. Хотак // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. Т. 19, № 1. С. 79–82. doi: 10.14258/pbssm.2020016

ИССЛЕДОВАНИЕ ХОЛОДНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ОВЮРСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

Б. Ш. Хургул-оол, А. А. Ооржак

Тувинский государственный университет, bhurgulool@gmail.com

Исследованы пробы воды из минеральных источников Улаатай, Аксы-Туруг и Талдыг-Чарык Овюрского района Тувы. Вода всех источников относилась к прозрачным низкотемпературным средней жесткости водам со слабощелочной средой. Источники Аксы-Туруг и Талдыг-Чарык являются пресными, а источник Улаатай – слабоминерализованным. Среди катионов преобладали ионы кальция, а анионов – гидрокарбонат-ионы. Содержание азотсодержащих соединений было незначительным. Содержание физико-химических показателей в исследуемых водах не превышали ПДК питьевых вод, что свидетельствует о пригодности исследуемых вод для питья.

Ключевые слова: вода, источник, катионы, анионы, Улаатай, Аксы-Туруг, Талдыг-Чарык.

Минеральные источники и озера Тывы обладают уникальными целебными свойствами и находятся в очень живописных местах региона. Недостаточная изученность химического состава подземных вод родников Республики Тыва и их бальнеологических свойств в настоящее время сохраняют свою актуальность в связи с возросшим интересом к подземным водам как туристическо-рекреационному объекту и ресурсу не смотря на труднодоступность родников и отсутствие с ними дорожного сообщения. Для исследования были отобраны образцы вод из источников Улаатай, Талдыг-Чарык и Аксы-Туруг Овюрского района, к ним ведут грунтовые дороги удовлетворительного состояния.

Отбор проб воды из источников Овюрского кожууна проводили согласно ГОСТ 17.1.5.04-81 в конце сентября 2021 г. Пробы воды отбирали в заранее подготовленные пластиковые бутылки с крышками. Посуду ополаскивали 3 раза отбираемой водой; воду наливали под горлышко, не оставляя воздушной прослойки. Температуру исследуемых вод измеряли лабораторным термометром с ценой деления 0,1–0,5 °С.

Химический и физико-химический анализ исследуемых вод был проведен в начале октября. Из-за отсутствия необходимых реактивов и оборудования, некоторые анализы проб воды проводили совместно с сотрудниками аналитической лаборатории ООО «Тувинская ГРЭ».

Вода всех источников относилась к прозрачным низкотемпературным средней жесткости водам со слабощелочной средой. Общая минерализация исследованных вод, следующая: для аржаана Аксы-Дуруг – 395,7; для аржаана Талдыг-Чарык – 359,7 мг/л; для аржаана Улаатай – 1666,3 мг/л. Вода источника Аксы-Дуруг и источника Талдыг-Чарык пресная (200–500 мг/л). Вода

аржаана Улаатай классифицируется как слабоминерализованная вода (1000–2000 мг/л).

Среди катионов преобладали ионы кальция, наибольшее содержание которого было выявлено в воде источников Аксы-Туруг и Улаатай – 137,47 и 160,71 мг/л, соответственно. Среди анионов преобладали гидрокарбонаты с содержанием 59,6 мг/л (аржаан Талдыг-Чарык) и 94,55 мг/л (аржаан Улаатай).

При участии фторидов осуществляются процессы минерализации в тканях зубов, в частности, формирование эмали. В воде аржаана Улаатай обнаружено 1,08 мг/л фторид-иона, следовательно употребление воды аржаана Улаатай в качестве питьевой воды также следует ограничить во избежание флюороза зубов, так как превышает ПДК. ПДК фторидов в питьевой воде составляет 1,0 мг/л. В остальных исследованных аржаанах концентрация фторидов составляет от 0,41 мг/л (аржаан Аксы-Туруг) до 0,42 мг/л (аржаан Талдыг-Чарык).

Сравнение полученных результатов по определению физико-химического состава вод источников Овюрского кожууна с литературными данными [1–3] показали близкие значения, что свидетельствует о достоверности этих результатов. Незначительные расхождения по содержанию тех или иных компонентов, возможно, связаны с разным периодом отбора проб и сезонностью формирования хемотаза природных вод.

Исходя из наших результатов можем сделать вывод, что среди катионов преобладают ионы кальция, а анионов – гидрокарбонат-ионы. Содержание азотсодержащих соединений было незначительным. Содержание физико-химических показателей в исследуемых водах не превышало ПДК питьевых вод, что свидетельствует о пригодности вод изученных минеральных источников для питья.

Библиографический список

1. Аракчаа К. Д., Кужугет К. С. Природные водные лечебные ресурсы Республики Тыва: состояние и перспективы исследований // Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов: опыт и перспективы использования в целях профилактики заболеваний, лечения и реабилитации больных : материалы I Междунар. науч.-практ. конф. Республики Тыва. Кызыл : типография КЦО «Аныяк», 2013. С. 8–15.
2. Аракчаа К. Д. Слово об аржаанах Тыва. М. : ПолиКом, 1995. 24 с.
3. Соднам Н. И., Кашкак Е. С., Ооржак У. С. Физико-химический обзор аржаанов Овюрского района // Вестник Тувинского государственного университета. Естественные и сельскохозяйственные науки. 2019. № 4. С. 52–58. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-himicheskiy-obzor-arzhaanov-ovyurskogo-rayona/viewer> (дата обращения: 01.11.2022).

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ФТОРИД-ИОНОВ С ПОМОЩЬЮ БЫТОВОГО ФИЛЬТРА

С. Г. Скугорева

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

Фильтрация водных растворов с содержанием фторид-ионов, превышающим ПДК в 1,5–2,0 раза, через бытовой фильтр «Барьер Классик» приводит к снижению концентрации фторидов до значений ПДК. Для очистки растворов и воды с более высоким содержанием фторидов следует использовать повторное фильтрование.

Ключевые слова: вода, фторид-ионы, фильтрование, бытовой фильтр.

Для нормальной жизнедеятельности человека необходимо поступление в организм оптимальных количеств макро- и микроэлементов. В воде большинство элементов содержится в виде неорганических ионов. Постоянное употребление воды с содержанием ионов, превышающим предельно допустимые концентрации (ПДК), способно вызывать различные заболевания. Для фторид-ионов ПДК в питьевой воде составляет 1,5 мг/л [1]. При превышении ПДК фторид-ионов возможно развитие такого заболевания как флюороз, при котором разрушаются зубы и кости [2].

В ходе ранее проведенных исследований в водопроводной воде пгт Ар-баж Кировской области установлено превышение ПДК по фторид-ионам в 1,3 раза [3]. Перед использованием для питья и приготовления пищи такую воду необходимо подвергать очистке. Традиционным способом снижения концентрации ионов в воде является фильтрование. В работе [4] показано, что фильтрование родниковой воды через бытовой фильтр приводило к снижению содержания ионов кальция, нитрат-ионов и катионов тяжелых металлов до 4,5 раз. В работе [5] установлено, что фильтрование через бытовой фильтр «Аквафор» является эффективным методом снижения концентрации фторид-, сульфат- и нитрат-ионов при относительно низком их исходном содержании в питьевой воде.

Целью работы было изучить влияние фильтрования водных растворов через бытовой фильтр на содержание фторид-ионов.

При проведении эксперимента готовили водные растворы с концентрацией фторид-ионов 0,75; 1,5; 2,25; 3,0; 4,5; 6,0; 7,5 и 9,0 мг/л. Для приготовления растворов брали ГСО 7188-95 фторидов с концентрацией 1 г/л и деионизованную воду. Полученные растворы фильтровали через бытовой фильтр «Барьер Классик». В состав данного фильтра входят: ионообменное волокно, способное удалять тяжелые металлы и растворенное железо; кокосовый активированный уголь, сорбирующий хлор и хлорорганические соединения; коко-

совый активированный уголь, обработанный серебром, который предотвращает рост бактерий [6].

Массовую концентрацию фторид-ионов в растворах до и после фильтрования определяли методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер» по методике [7]. Содержание фторидов в воде сравнивали со значением ПДК. Эксперимент проводили в трехкратной повторности.

Значения концентрации фторид-ионов в водных растворах до и после фильтрования представлены в таблице. Из данных, приведенных в таблице, видно, что при фильтровании растворов концентрация фторид-ионов в них снижалась в 1,3–2,2 раза. При этом с увеличением исходной концентрации ионов снижение их содержания после фильтрования было менее существенным.

При фильтровании растворов № 3–4, концентрация в которых превышает ПДК в 1,5 и 2,0 раза, удается ее снизить до значений, которые ниже ПДК. При фильтровании растворов № 5–8 не получается снизить содержание фторид-ионов до норматива, поэтому требуется их повторное фильтрование.

Таблица

**Изменение концентрации фторид-ионов
при фильтровании растворов через бытовой фильтр**

№ п/п	Концентрация фторидов в растворе				
	до фильтрования (исходная)			после фильтрования	
	теоретическая, мг/л	по результатам химического анализа, мг/л	ПДК	по результатам химического анализа, мг/л	ПДК
1	0,75	0,71±0,11	0,47	0,32±0,05	0,21
2	1,5	1,47±0,15	0,98	0,73±0,11	0,48
3	2,25	2,20±0,22	1,47	1,25±0,12	0,83
4	3,0	2,94±0,29	1,96	2,03±0,20	1,36
5	4,5	4,45±0,4	2,97	2,78±0,28	1,86
6	6,0	5,9±0,6	3,95	4,1±0,4	2,76
7	7,5	7,4±0,7	4,95	5,4±0,5	3,59
8	9,0	8,9±0,9	5,93	6,8±0,7	4,51

Между содержанием фторид-ионов в растворах до и после фильтрования через бытовой фильтр существует прямая корреляционная взаимосвязь ($R = 0,997$) (рис.).

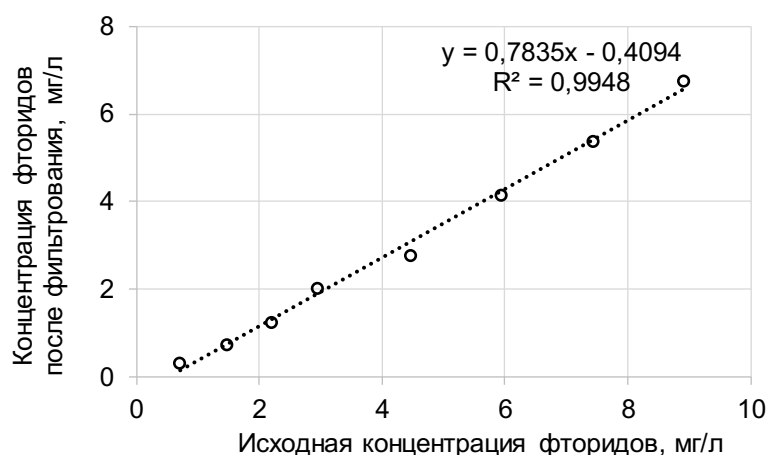


Рис. Зависимость между содержанием фторид-ионов до и после фильтрования растворов через бытовой фильтр

Таким образом, фильтрование водных растворов с содержанием фторид-ионов, превышающим ПДК в 1,5–2,0 раза, через бытовой фильтр «Барьер Классик» приводит к снижению концентрации фторидов до значений норматива. Для очистки растворов и воды с более высоким содержанием фторидов следует использовать повторное фильтрование.

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. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 31.10.2022).
2. Горностаева Е. А., Фукс С. Л. Влияние фторсодержащих соединений на живые организмы (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 14–24. doi: 10.25750/1995-4301-2017-1-004-013
3. Чикишев С. В., Скугорева С. Г. Ионный состав подземных и поверхностных вод пгт Арбаж Кировской области // Актуальные проблемы биологической и химической экологии : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. М. : Московский государственный областной университет, 2021. С. 362–366.
4. Скугорева С. Г., Ашихмина Т. Я., Чикишев С. В. Влияние кипячения и фильтрования на содержание неорганических ионов в родниковой воде // Бутлеровские сообщения. 2021. Т. 66, № 5. С. 76–82. doi: 10.37952/roi-jbc-01/21-66-5-76
5. Чикишев С. В., Скугорева С. Г. Изменение концентрации фторид-ионов при фильтровании питьевой воды // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров, 2021. С. 314–315.
6. Барьер. Кассета Классик [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.barrier.ru/product/smennye-kassety-dlya-kuvshinov/classic/classic/> (дата обращения: 17.02.2020).
7. ФР.1.31.2008.01724. Методика выполнения измерений массовой концентрации фторид-, хлорид-, нитрат-, фосфат- и сульфат-ионов в пробах питьевой, минеральной, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии. М. : НПКиФ Аквилон, 2008. 16 с.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К БИОЛОГИЧЕСКИМ МАРКЕРАМ СТОЧНЫХ ВОД

Е. Н. Сизова, Л. Н. Шмакова, Н. С. Федоровская

*Кировский государственный медицинский университет,
cizovahelena@mail.ru, zontik-34@yandex.ru, fednadst@mail.ru*

В статье проведен краткий анализ литературы по использованию биологических маркеров в эколого-эпидемиологическом мониторинге сточных вод. Указаны необходимые требования к биологическим маркерам патогенных организмов. Показаны перспективы изучения и развития протеомики сточных вод в понимание роли белков воспаления, присутствующих в моче.

Ключевые слова: биологические маркеры, сточные воды, эколого-эпидемиологический мониторинг.

Эколого-эпидемиологический мониторинг сточных вод показал свою успешность в контроле за потреблением наркотиков, в определении образа жизни популяции и различных воздействий на неё. Благодаря широкому спектру эндогенных химических и биологических маркеров заболеваний в моче, существует огромный потенциал использования эколого-эпидемиологического мониторинга сточных вод для контроля, в частности, за инфекционными заболеваниями и их распространением на уровне сообществ [1].

Эндогенные и экзогенные биологические маркеры в сточных водах при тщательном подборе могут дать ключевую информацию о состоянии здоровья населения. Существуют определенные критерии использования биологического маркера. Например, биомаркер должен в основном выделяться с мочой, а его концентрация для последующего обнаружения в сточных водах должна измеряться в нг/л [2]. Биомаркер должен оставаться стабильным в канализационной системе и в процессе отбора и при хранении проб [3]. Биологические маркеры также должны быть специфичными для метаболизма человека, и метаболизм биомаркера должен быть хорошо изучен. Это гарантирует, что данный биомаркер произошел не от каких-либо экзогенных источников [4]. Дело в том, что канализационная система и сточные воды являются домом для широкого круга сложных микробных сообществ, имеющих географические различия и сложно характеризующихся. Следовательно, существует высокий риск микробной деградации и/или трансформации биомаркеров.

Чрезвычайно важно выбрать широкую панель биологических маркеров, информирующих о бактериальных и вирусных инфекциях, биохимических эндогенных параметрах физиологического ответа. Например, существуют биомаркеры воспаления, включая малые молекулы и белки, а также маркеры возможного фармакологического вмешательства (фармацевтические препараты и их метаболиты), а также маркеры устойчивости к противомикробным препаратам.

Рассмотрим необходимые требования к маркерам патогенных организмов. Примерами таких ключевых биологических маркеров являются остатки ДНК/РНК патогенных бактерий, вирусов и грибов. Их обнаружение в поступающих сточных водах позволит выявить болезни, циркулирующие среди населения, а также источники их возникновения. Первостепенными факторами риска возникновения инфекции являются резистентные бактерии и вирусы из-за их высокой мутационной активности и способности к быстрой адаптации к новому хозяину – человеку. Прежде всего это касается РНК-вирусов, высокая скорость замены нуклеотидов которых приводит к подобной быстрой адаптации и распространению в новых популяциях хозяев [5]. Эколого-эпидемиологический мониторинг за сточными водами уже показал впечатляющие результаты в ретроспективном прогнозировании вспышек гепатита А и норовируса [6]. Сточные воды также исследовались во время вспышки вируса свиного гриппа H1N1. В сточных водах успешно были обнаружены вирусы гриппа А, но, например, вирус пандемического гриппа H1N1 обнаружен не был [6]. Известно, что эколого-эпидемиологический мониторинг за полиомиелитом в сточных водах осуществляется ещё с 1980-х годов, то есть за несколько лет до введения самого понятия «эпидемиология сточных вод». Так, в Финляндии, Израиле и Сенегале [7] успешно анализируют пробы сточных вод для оценки циркулирующего среди населения полиомиелита. В 2003 году ВОЗ выпустила руководство по использованию проб сточных вод в мониторинге полиомиелита.

Разнообразие состава сточных вод создает трудности для извлечения и количественного определения химических соединений, а также для установления биомаркеров. Так, в составе сточных вод содержится широкий спектр ингибиторов полимеразной цепной реакции (ПЦР), включая жиры, белки, гуминовые и фульвокислоты, что создает определенные проблемы в использовании данного метода. Коммерчески доступные различные наборы для экстракции ДНК/РНК показывают различную степень чувствительности при работе с образцами сточных вод, богатыми ингибиторами ПЦР [8]. Это приводит к проблемам в сравнении результатов различных исследований, а также определении пространственных и временных закономерностей. Следует отметить, что последние достижения молекулярной биологии предлагают новые способы анализа генетического материала, включая цифровую ПЦР (цПЦР) и методы секвенирования нового поколения. В цПЦР абсолютная количественная оценка генов-мишеней рассчитывается с использованием распределения Пуассона путем разделения образцов ДНК/РНК на десятки и тысячи реакционных лунок. Хотя при таком разделении веществ, ингибирующих ПЦР, сам метод цПЦР показал меньшую чувствительность к биомаркерам в образцах сточных вод [9].

Секвенирование нового поколения – еще одна многообещающая технология, позволяющая получить обширную информацию о сложных микробных сообществах в образцах, включая идентификацию широкого спектра присутствующих патогенов и генов резистентности. Так, анализ вирусов и генов

устойчивости с помощью метагеномики дает ключевую информацию о новых патогенах, а также о повторно возникающих инфекционных заболеваниях и позволяет эффективнее управлять системой общественного здравоохранения [10]. Стандартизация протоколов метагеномики сложная задача, но это позволит в будущем постоянно совершенствовать технологии эколого-эпидемиологического мониторинга за сточными водами, а снижение затрат на секвенирование революционизирует надзор как за патогенами, так и за их резистентностью.

По нашему мнению, белковые биомаркеры воспаления относятся к жизненно важной группе эндогенных маркеров. В последнее десятилетие протеомика мочи вызывает большой интерес у исследователей, так как всеобщее доказано, что моча содержит большое количество белков. Протеомика в целом быстро развивающаяся область молекулярной биологии, которая занимается крупномасштабным и систематическим анализом белков. Этот анализ основан на концепции протеома как полного набора белков клетки или организма при определенных условиях. Моча более желательна для такой диагностики из-за возможностей неинвазивного тестирования, а также как потенциальный источник биологических маркеров заболеваний и здоровья. Некоторые биомаркеры чувствительны к изменениям в организме и являются ранними индикаторами болезни. Клинически в настоящее время используется лишь небольшое количество таких белков, но это не ограничивает использование более широкого спектра белков в эколого-эпидемиологическом мониторинге сточных вод для недиагностического анализа [4]. К биомаркерам воспаления в моче относятся С-реактивные белки и интерлейкины, включая ИЛ-6 и ИЛ-8. Они наиболее перспективны для использования в эколого-эпидемиологическом мониторинге сточных вод. С-реактивные белки в моче обычно применяются в клиниках для биомониторинга, например, при изучении нарушений функции почек [11]. Другие прогностические биологические маркеры, ранее предложенные для эколого-эпидемиологического мониторинга сточных вод, включают белки, связывающие витамин D, так как их уровень существенно повышается в моче инфицированных людей при воспалительных заболеваниях почек [4].

Таким образом, протеомика мочи для неинвазивных клинических тестов активно развивается, и вместе с ней совершенствуется понимание роли белков воспаления, присутствующих в моче. Однако анализ белков сточных вод еще до конца не проведен. Предстоит изучить вопросы стабильности белков в канализационных системах. Для успешного применения эколого-эпидемиологического мониторинга сточных вод за инфекционными заболеваниями требуется быстрое решение некоторых ключевых проблем, связанных с созданием новых методов извлечения биомаркеров, новых тестовых систем для их обнаружения, а также создание системы анализа широкого спектра групп биомаркеров генов, белков и целых микроорганизмов.

Библиографический список

1. Сизова Е. Н., Шмакова Л. Н., Видякина Е. В. Эколого-эпидемиологический мониторинг сточных вод // Вятский медицинский вестник. 2022. Т. 74, № 2. С. 89–93. doi: 10.24412/2220-7880-2022-2-89-93
2. Towards finding a population biomarker for wastewater epidemiology studies / C. Chen, C. Kostakis, J. P. Gerber, B. J. Tschärke, R. J. Irvine, J. M. White // Sci. Total Environ. 2014. Vol. 487. P. 621–628. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.11.075
3. Critical review on the stability of illicit drugs in sewers and wastewater samples / A.-K. McCall, R. Bade, J. Kinyua, F. Y. Lai, P. K. Thai, A. Covaci, L. Bijlsma, A. L. N. van Nuijs, C. Ort // Water Res. 2016. Vol. 88. P. 933–947. doi: 10.1016/J.WATRES.2015.10.040
4. Daughton C. G., Monitoring wastewater for assessing community health: sewage chemical-information mining (SCIM) // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 619–620. P. 748–764. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.102
5. Woolhouse M. E., Gowtage-Sequeria S. Host range and emerging and reemerging pathogens. // Emerg. Infect. Dis. 2005. Vol. 11. P. 1842–1847. doi: 10.3201/eid1112.050997
6. Detection of pathogenic viruses in sewage provided early warnings of hepatitis A virus and norovirus outbreaks / M. Hellmer, N. Paxeus, L. Magnus, L. Enache, B. Arnholm, A. Johansson, T. Bergström, H. Norder // Appl. Environ. Microbiol. 2014. Vol. 80. P. 6771–6781. doi: 10.1128/AEM.01981-14
7. Ndiaye A. K., Diop P. A., Diop O. M. Environmental surveillance of poliovirus and non-polio enterovirus in urban sewage in Dakar, Senegal (2007–2013) // Pan Afr. Med. J. 2014. doi: 10.11604/pamj.2014.19.243.3538
8. Walden C. Carbonero F., Zhang W. Assessing impacts of DNA extraction methods on next generation sequencing of water and wastewater samples // J. Microbiol. Methods. 2017. Vol. 141. P. 10–16. doi: 10.1016/j.mimet.2017.07.007
9. Reverse transcriptase droplet digital PCR shows high resilience to PCR inhibitors from plant, soil and water samples. / N. Rački, T. Dreó, I. Gutierrez-Aguirre, A. Blejec, M. Ravnikar // Plant Methods. 2014. Vol. 10. P. 42. doi: 10.1186/s13007-014-0042-6
10. Aarestrup F. M., Woolhouse M. E. Using sewage for surveillance of antimicrobial resistance. // Science. 2020. Vol. 367 (80). P. 630–632. doi: 10.1126/science.aba3432
11. C-reactive protein is associated with renal function abnormalities in a nondiabetic population. / E. M. Stuveling, H. L. Hillege, S. J. L. Bakker, R. O. B. Gans, P. E. de Jong, D. de Zeeuw // Kidney Int. 2003. Vol. 63. P. 654–661. doi: 10.1046/j.1523-1755.2003.00762.x

ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ

А. Э. Коротаева, М. А. Пашкевич, Д. С. Петров

Санкт-Петербургский горный университет, Korotaeva_AE@pers.spmi.ru

В статье представлены результаты экспериментальных исследований по изучению ряда видов высшей водной растительности (макрофитов) с точки зрения их способности аккумулировать тяжелые металлы из водной среды. Были выявлены виды макрофитов, поглощающие наибольшее количество рассмотренных поллютантов, а также даны рекомендации по применению данных видов для биоиндикации и биоремедиации загрязненных вод.

Ключевые слова: биоиндикация, биоремедиация, фиторемедиация, высшая водная растительность, макрофиты, тяжелые металлы, поверхностные воды, сточные воды.

Загрязнение окружающей среды, в том числе и водных экосистем, становится серьёзной проблемой современного общества. Одними из токсичных поллютанов, поступающих в водные объекты, являются тяжелые металлы (ТМ) [1, 2]. Основные источники их поступления в окружающую среду – это отходы предприятий горной, нефтяной, химической промышленности и сельское хозяйство. При высоких концентрациях ТМ могут приводить к отравлению и гибели живых организмов в связи с накоплением в пищевых цепочках, характеризуясь эффектом биомагнификации [3, 4].

На данный момент существует множество методов очистки вод от ТМ. Они включают в себя метод обратного осмоса, химическое осаждение, ионный обмен, адсорбцию и экстракцию [5, 6]. Все перечисленные методы очистки требуют значительных капитальных и эксплуатационных затрат в процессе реализации [1].

В качестве альтернативы данным дорогостоящим методам предлагается метод фиторемедиации, заключающийся в использовании различных видов высшей водной растительности в качестве аккумуляторов ТМ из водной среды. Поглощение поллютанов осуществляется за счет процессов фитоаккумуляции, фитостабилизации, фитодеградации и фитоэкстракции [5, 7, 8].

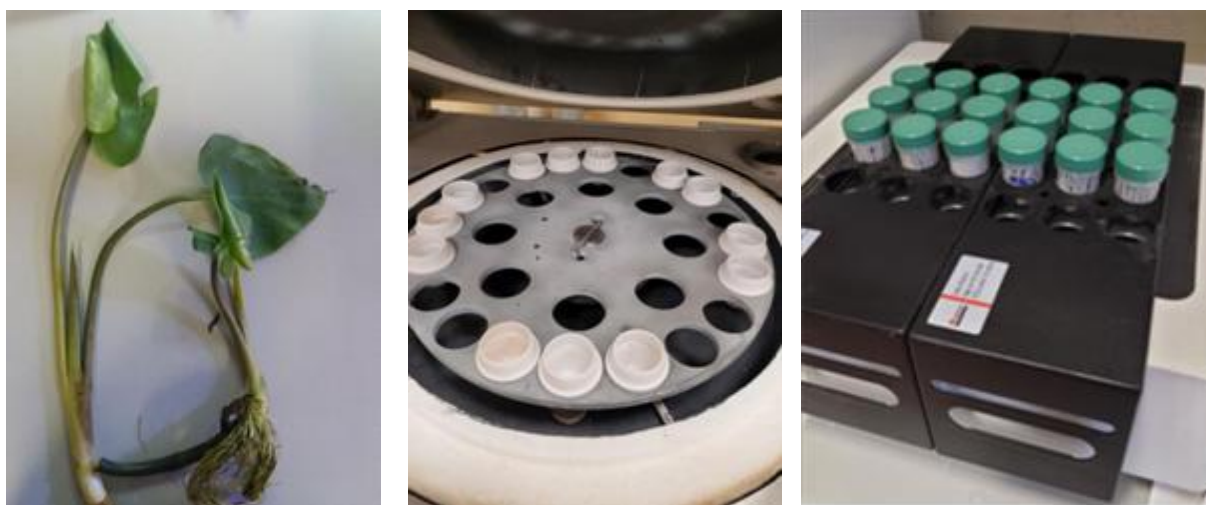
Способность высшей водной растительности поглощать ТМ описывается коэффициентом биоконцентрирования, который характеризует способность растительности накапливать ТМ в зависимости от их концентрации в окружающей среде [9]. На способность высшей водной растительности накапливать ТМ оказывает влияние биодоступность последних в окружающей среде, скорость их поглощения корневой системой, а также клеточная толерантность определенного вида растения к тому или иному ТМ. Некоторые ТМ являются эссенциальными микроэлементами, что обуславливает их необходимость для нормальной жизнедеятельности растения [10].

Экспериментальные исследования по изучению способности высшей водной растительности аккумулировать ТМ проводили на территории г. Санкт-Петербурга. Отбор проб высших водных растений осуществляли по течению р. Охта, которая, согласно ежегодным докладам об экологической ситуации правительства г. Санкт-Петербурга, характеризуется многократным превышением концентраций загрязняющих веществ, в том числе и ТМ [11].

В ходе исследования определяли содержание металлов: Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} и Mn^{2+} , а также проводили отбор следующих видов растений: стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.), рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), белокрыльник болотный (*Calla palustris* L.), кубышка жёлтая (*Nuphar lutea* L.), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.), канареечник тростниковидный (*Phalaris arundinacea* (L.) Raushert), осока острая (*Carex*

acuta L.), таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), телорез алоэвидный (*Stratiotes aloides* L.).

По течению р. Охта было выделено 7 пробных площадок (1 – фоновая), на которых для проведения дальнейших лабораторных исследований осуществляли отбор 5–10 представителей каждого вида растений. В лабораторных условиях высшая водная растительность разделялась на надземную и подземную части (листья, стебли, корень), далее осуществлялось их высушивание до воздушно-сухого состояния, озоление и проведение кислотной экстракции (рис.) для определения концентрации металлов в растворе методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на ICPE-9000 (Shimadzu).



а)

б)

в)

Рис. Этапы подготовки проб высшей водной растительности в лабораторных условиях: а) – высушивание проб до воздушно-сухого состояния, б) – озоление проб; в) – кислотная экстракция металлов в раствор

В результате проведенных исследований были получены ряды накопления металлов в различных органах высшей водной растительности. У большинства изученных видов высшей водной растительности наблюдается идентичный ряд накопления металлов, а именно: $\text{Fe}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$. Для кубышки желтой (*Nuphar lutea* L.), листьев стрелолиста обыкновенного (*Sagittaria sagittifolia* L.) и стебля и листьев белокрыльника болотного (*Calla palustris* L.) в конце периода вегетации концентрация железа становится ниже концентрации марганца. Также преобладание аккумуляции марганца над железом выявлено у роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum* L.), телореза алоэвидного (*Stratiotes aloides* L.), рогоза широколистного (*Typha latifolia* L.), листьями белокрыльника болотного (*Calla palustris* L.) в течение всего вегетационного периода. Отмечено, что наибольшее содержание ионов изученных металлов наблюдается у стрелолиста обыкновенного (*Sagittaria sagittifolia* L.) и рогоза широколистного (*Typha latifolia* L.), а также индивидуально иона марганца – у роголистника погруженного (*Ceratophyllum demer-*

sum L.). Наряду с этим белокрыльник болотный (*Calla palustris* L.) демонстрирует устойчивое возрастание значений аккумулярованных ионов железа и марганца как в листьях, так и в корнях на протяжении всего вегетационного периода.

Библиографический список

1. Phytoremediation of heavy metals: An indispensable contrivance in green remediation technology / S. Hassan, S. A. Bhat, V. Kumar, B. A. Ganai, F. Ameen // *Plants*. 2022. Vol. 11. Article No. 1255. doi: 10.3390/plants11091255/
2. Биогеохимическая оценка состояния почвенно-растительного покрова в промышленных, селитебных и рекреационных зонах Санкт-Петербурга / М. А. Пашкевич, J. Bech, В. А. Матвеева, А. В. Алексеенко // *Записки Горного института*. 2020. Т. 241. С. 125–130. doi: 10.31897/pmi.2020.1.125
3. Nabi M. Heavy metals accumulation in aquatic macrophytes from an urban lake in Kashmir Himalaya, India // *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 2021. Vol. 16. Article No. 100509. doi: 10.1016/j.enmm.2021.100509
4. Черная Л. В., Ковальчук Л. А., Микшевич Н. В. Особенности биоаккумуляции тяжёлых металлов в тканях большой ложноконской пиявки *Haemopsis sanguisuga* L. в водных экосистемах Урала // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 3. С. 68–74. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-068-074
5. Phytoremediation of heavy metals extracted from soil and aquatic environments: Current advances as well as emerging trends / R. Kumar Verma, M. Singh Sankhla, E. B. Jadhav, K. Parihar, K. K. Awasthi // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2022. Vol. 12. No. 4. P. 5486–5509. doi: 10.33263/BRIAC124.54865509
6. Matveeva V. A., Petrova T. A., Chukaeva M. A. Molybdenum removal from drainage waters of tailing dumps of Apatit JSC // *Obogashchenie Rud.* 2018. No. 2. P. 42–47. doi: 10.17580/OR.2018.02.08
7. 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 // *Science of the Total Environment*. 2008. Vol. 392. No. 1. P. 22–29. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.11.032
8. Nedjimi B. Phytoremediation: a sustainable environmental technology for heavy metals decontamination // *SN Applied Sciences*. 2021. Vol. 3. No. 3. P. 1–19. doi: 10.1007/S42452-021-04301-4/TABLES/6
9. Arnot J. A., Gobas F. A. P. C. A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms // *Environmental Reviews*. 2006. Vol. 14. No. 4. P. 257–297. doi: 10.1139/A06-005
10. Лазарев В. И., Минченко Ж. Н., Башкатов А. Я. Агроэкологическое обоснование применения микроэлементных удобрений при возделывании яровой пшеницы // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 3. С. 154–160. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-154-160
11. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 году / под ред. Д. С. Беляева, И. А. Серебрицкого. Ижевск : ООО «ПРИНТ», 2021. 253 с.

БИОИНДИКАЦИЯ В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАРИЙСКИХ СВЯЩЕННЫХ РОЩ

*О. В. Малиута¹, А. В. Ястребова¹, Н. М. Ятманова²,
Д. Р. Якупова¹, С. А. Попов¹*

¹ *Поволжский государственный технологический университет,
olgamal@list.ru*

² *Казанский государственный аграрный университет,
nadegda827@yandex.ru*

В статье представлены результаты исследования экологического состояния природных комплексов марийских священных рощ с использованием методов биоиндикации. Для большинства обследованных объектов выявлено значительное отклонение экологического состояния среды от нормы. Основными антропогенными факторами, влияющих на деградацию экосистем священных рощ являются загрязнение и рекреационная (обрядовая) деятельность.

Ключевые слова: священные рощи, природные экосистемы, биоиндикация, антропогенное воздействие, флуктуирующая асимметрия, индексы биоразнообразия.

Священные рощи марийцев являются природно-культурными памятниками и представляют историческую ценность. Они как экологические заповедники в виде чистого леса, не тронутого цивилизацией, пришли из глубокой древности.

Многие священные рощи в настоящее время не потеряли своего функционального культового назначения, поэтому в религиозной практике они могут служить основой формирования у населения этнического самосознания [1].

Фитоценозы священных рощ рассматривают как островные экосистемы, которым присуще такое свойство, как изолированность, это определяет их низкую степень устойчивости к антропогенным нагрузкам. Оценка экологического состояния священных рощ необходима для комплексной характеристики среды и оптимизации природопользования, для принятия решений при создании особо охраняемых территорий.

В 2021 г. исследования проводились в десяти священных рощах Советского, Мари-Турекского и Медведевского районов Республики Марий Эл.

Объекты исследования. Медведевский р-н: 1 – священная роща «Мерюмо» (у д. Яныкайсола); 2 – священная роща «Агавайрем» (у д. Какшансола).

Советский р-н: 3 – священная роща у д. Васлеево; 4 – священная роща у д. Кордемучаш; 5 – роща у д. Кораксола; 6 – священная роща «Агавайрем» (д. Кюрсола).

Мари-Турекский р-н: 7 – священная роща «Кусото» (д. Уржумноля); 8 – священная роща у д. Китнемучаш; 9 – священная роща у д. Мари-Китня; 10 – священная роща у д. Мари-Купта.

Оценка экологического состояния рощ определялось по величине флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа березы [2] и с использованием индексов биоразнообразия (коэффициент Серенсена, индекс неоднородности Симпсона, индекс видового богатства Менхиника) [3].

Изменения экологической ситуации в природных экосистемах можно надежно диагностировать с использованием различных биоиндикаторов, отслеживая их фактическое состояние. Отклонение в различной степени от условной нормы можно соотнести с возможным влиянием комплекса известных (или не известных) биотических или абиотических факторов.

Морфогенетический подход, по мнению многих исследователей, позволяет оценить стабильность развития отдельных организмов по величине показателей флуктуирующей асимметрии, как незначительных отклонений от совершенной билатеральной симметрии. Считается, что уровень таких морфологических отклонений от нормы минимален лишь в оптимальных для организма условиях, и возрастает при любых стрессовых воздействиях [4].

Отбор листьев березы проводился по периметру рощи с западной и юго-западной стороны. Выбор места для сбора биологического материала обусловлен направлением преобладающих ветров в нашей республике (преобладают З и Ю-З ветра), из чего следует, что именно западная и юго-западная часть объекта исследований в большей степени подвержена любым видам загрязнения (локальным, региональным, трансграничным).

Значительное отклонение экологического состояния на объекте от нормы отмечалось в шести рощах: 3, 4, 6, 8, 9, 10 (значение показателя асимметрии варьировало в пределах от 0,063 до 0,065) и в одной (роща 5) – сильное отклонение от нормы (индекс асимметрии 0,067). Анализ влияния возможных антропогенных факторов на объектах (рощи 3, 4, 6, 8, 9, 10) показал, что непосредственной близости от рощ находятся заброшенные или действующие сельскохозяйственные угодья, грунтовые дороги или автотрассы, предприятия (как у рощи 9 – на юго-востоке в пределах видимости находятся птичники Акашевской птицефабрики).

Наиболее нестабильное состояние отмечается в роще 5, где помимо влияния сельскохозяйственного производства, можно предположить так же воздействие выбросов Акашевской птицефабрики и асфальтового завода, которые находятся к югу от священной рощи. Экологическое состояние в роще 2 является переходным от незначительных изменений в сторону ухудшения, но выражены они пока не явно (значение показателя асимметрии 0,061).

Большое значение показателя асимметрии, соответствующее незначительному отклонению экологического состояния от нормы определено в роще 1 (0,056), а состояние в пределах нормы – в роще 7 (0,050), которая расположена роща внутри лесного массива.

Таким образом, семь священных рощ и десяти обследованных в 2021 г., подвергаются антропогенному воздействию, и их экологическое состояние значительно отличается от нормы.

Живой напочвенный покров (ЖНП) – одна из составляющих частей любой лесной экосистемы, оказывающая огромное влияние на течение биоценотических и сукцессионных процессов. Большинство видов растений, образующих ЖНП в лесу, очень чувствительны к воздействию факторов загрязнения, рекреации и изменяется значительно быстрее, чем другие составляющие лесного биоценоза.

Для определения индексов биоразнообразия учитывались растения с площадки 1 x 1 м, определялся их видовой и количественный состав. Площадки закладывались в глубине рощи (т. 1), в типичных лесорастительных условиях, где антропогенное воздействие исключено (насколько это возможно в конкретных условиях). А также по периметру рощи (т. 2) с западной или юго-западной его части, которые, предположительно, являются максимально загрязненными.

На данных объектах исследования наблюдалось довольно схожее состояние живого напочвенного покрова – для всех рощ характерно относительно невысокое разнообразие ЖНП. Большинство объектов имеет значительное различие в видовом составе ЖНП (сходство ЖНП варьирует от 0 в роще 4 до 0,46 в роще 6).

Анализ значений индекса Симпсона (показатель доминирования) показал, что на объектах с наибольшим отклонением по результатам оценки величины флуктуирующей асимметрии – в рощах 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, отмечается более высокий показатель доминирования по периметру рощи, чем в глубине, (например, в роще 4 значение индекса Симпсона в т. 1. равно 0,20, а в т. 2 – 0,67). Это позволяет предположить влияние внешнего антропогенного воздействия, в первую очередь, загрязнения и его разрушающего действия на данные объекты. В рощах 1, 2 и 7, где экологическое состояние среды незначительно отклоняется от нормы, показатель доминирования выше в местах обрядовых полей (например, в роще 7 значение индекса Симпсона в т. 1. равно 0,5, а в т. 2 – 0,35). Это свидетельствует о негативном антропогенном воздействии иного характера, а именно, связанного с религиозными обрядами.

Таким образом, анализ индексов биоразнообразия показал, что на семи объектах (рощи 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10) имеет место деградация экосистем по периметру рощи, что, с большой долей вероятности, обусловлено антропогенным загрязнением, вызванным воздействием промышленных выбросов, выбросам автотранспорта, влиянием сельскохозяйственного производства. На трёх объектах (рощи 1, 2, 7) влияние внешнего загрязнения незначительно, нарушение экосистем обусловлено, в первую очередь, рекреационной деятельностью.

Выполненные биоиндикационные исследования позволили сделать вывод о том, что большинство обследованных объектов подвергаются сильному антропогенному воздействию, и их экологическое состояние значительно отличается от нормы. Так же выявлена неоднородность антропогенных факто-

ров, способствующих деградации экосистем священных рощ. Семь объектов подвержены влиянию загрязнения от различных источников, три – испытывают негативное воздействие от рекреационной (обрядовой) деятельности.

Библиографический список

1. Кудрявцев В. Г. Священные рощи марийцев // Вестник Марий Эл. 2004. № 3. С. 84–94.
2. Здоровье среды: методика оценки. Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методологическое руководство для заповедников / В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов, А. В. Валецкий, Н. Г. Кряжева, Е. К. Чистякова, А. Т. Чубанишвили. М. : Центр экологической политики России, 2000. 66 с.
3. Лебедева В. Н., Дроздов Н. Н., Криволицкий Д. А. Биологическое разнообразие : учебное пособие. М. : ВЛАДОС, 2004. 431 с.
4. Захаров В. М., Чубанишвили А. Т. Мониторинг здоровья среды на охраняемых природных территориях. М., 2001. 148 с.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОЙМЕННОГО ОЗЕРА ХОЛУНОВО (КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО ЗНАЧЕНИЯ В СОХРАНЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ ПРИЛЕГАЮЩИХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Э. Д. Сморкалова, А. С. Олькова

Вятский государственный университет, elina.smorkalova.03@inbox.ru

Лесные экосистемы по сравнению с безлесными территориями отличаются повышенным биоразнообразием. Наличие в ландшафтной структуре лесного массива водных объектов – озер, ручьев и рек – повышает биоразнообразие и, следовательно, экологическое значение лесных массивов. Предложен комплекс методов для исследования гидрологического памятника природы в Кировской области – озера Холуново.

Ключевые слова: пойменные озёра, биоиндикация, оценка экологического состояния водоема, ландшафтная оценка.

Устойчивость естественных экосистем напрямую связана со сложившимся биологическим разнообразием, накопленным и текущим антропогенным воздействием на них [1–3]. Биоразнообразие и устойчивость бореальных лесных экосистем зависит, в том числе, от водного режима, который обеспечивается водоёмами и водотоками, расположенными внутри лесных массивов, либо к ним прилегающих. Флористическое разнообразие и богатство животного мира в лесах с озёрами и ручьями превосходит аналогичные показатели в экосистемах, лишённых водных объектов [4]. Многие представители ихтиофауны лесных водоёмов, в частности, донные беспозвоночные из класса Насекомые лишь часть своей жизни проводят в водной среде, а в зрелом возрасте включаются в структуру околосредных экосистем – экотонных и лесных экосистем.

Такие ландшафтные и экологические особенности водных объектов в лесных экосистемах способствуют:

- увеличению разнообразия экологических связей внутри околосводных экосистем;
- появлению переходных, экотонных, сообществ, отличающихся наибольшим биоразнообразием;
- увеличению рекреационной ценности местности.

Однако, лесные водоёмы в силу своей ресурсной и рекреационной привлекательности, часто оказываются подверженными увеличенной антропогенной нагрузке. Они могут вовлекаться в хозяйственную деятельность человека, испытывать воздействие различных загрязняющих веществ. Часто загрязнение лесных экосистем и структурно входящих в них водоёмов происходит биогенными элементами, что ведет к эвтрофикации водоёмов. В результате антропогенной эвтрофикации происходит снижение рыбохозяйственного и рекреационного потенциала водных объектов, деградация как отдельных компонентов экосистемы, так и целых сообществ организмов [1].

Целью нашей работы стал выбор подходов и методов оценки экологического состояния оз. Холуново (Кировская область, пос. Сидоровка) для дальнейшего изучения роли водоёмов в сохранении устойчивости лесных экосистем.

Озеро Холуново является гидрологическим памятником природы регионального значения. Озеро расположено в пойме правого берега реки Вятки ниже п. Сидоровка и является самым крупным пойменным озером в окрестностях города Киров. Длина его составляет 4 км, ширина – до 300 м. Холуново – это не только красивые виды мест, а также место для отдыха и любительского рыболовства. Ихтиофауна озера включает различные виды рыб обладающие, в том числе, пищевой ценностью – карась, плотва, щука, линь, карп, окунь, сорога.

Для проведения исследования нами выбран комплекс методов:

- биоиндикация водоёма по макрозообентосу, позволяющая оценить влияние условий на видовой состав донных беспозвоночных;
- биотестирование воды и донных отложений водоёма для оценки интегральной токсичности компонентов водной среды;
- геоботаническое профилирование берегов озера с целью изучения возможного влияния процессов эвтрофикации на высшую водную растительность;
- ландшафтное картографирование для более эффективного анализа и систематизации полученных в ходе исследований данных.

Таким образом, предложенный комплекс подходов и методов будет дополнять имеющиеся данные о памятнике природы регионального значения «Озеро Холуново» с новой позиции – связи озёра с прилегающими лесными экосистемами.

Библиографический список

1. Экология родного края / под ред. Т. Я. Ашихминой. Киров. : Вятка, 1996. 720 с.
2. Соловьев А. Н. Памятники природы города Кирова и его окрестностей. Изд. 2-е, доп. Киров : АиСАН, 2017. 136 с.
3. Карпилович А. И., Гордеева Е. М. Международно-правовые принципы устойчивого управления лесами, экологический аспект // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 77–81. doi: 10.25750/1995-4301-2010-3-077-081
4. Мониторинг, контроль и управление качеством окружающей среды: научное, учебно-методическое пособие / А. И. Потапов, В. Н. Воробьев, Л. Н. Карлин, А. А. Музалевский. СПб. : РГГМУ, 2002. 432 с.

БИОДИАГНОСТИКА АКТИВНОГО КРАСИТЕЛЯ BLUE SPD

*С. А. Мирзалимова¹, Л. М. Шаповалова¹, Е. Ю. Киришина¹,
М. Г. Мухамедиев²*

*¹ НИИ окружающей среды и природоохранных технологий,
mirzalimova@mail.ru*

² Национальный университет Узбекистана, mtmukamediev@mail.ru

В статье представлен опыт применения методов биодиагностики для оценки токсичности активного красителя Blue SPD, который используется в текстильной промышленности. Определена безопасная концентрация красителя в сточных водах при поступлении в городскую канализацию.

Ключевые слова: биотестирование, токсичность, дафнии, активный краситель, сточные воды.

В Узбекистане одной из динамично развивающихся отраслей экономики является текстильная и швейно-трикотажная промышленность, благодаря наличию собственной сырьевой базы, а также постоянно растущему спросу на производимую продукцию. Однако, образующиеся в процессе производства сточные воды, содержащие красители и другие химические вещества, негативно влияют на окружающую среду, вызывая болезни и гибель флоры и фауны [1, 2].

Поэтому в задачи исследования входило определение острого токсического действия красителя по смертности (летальности) дафний за определенный период экспозиции. Критерием острой токсичности служила гибель 50% и более дафний за 96 часов в исследуемой воде при условии, что в контрольном эксперименте гибель их не превышала 10%. Токсичность модельного раствора красителя Blue SPD определялась по методикам [3, 4].

В качестве тест-объекта использовался представитель низших ракообразных – пресноводный веслоногий рачок дафния (*Daphnia magna* Straus) в возрасте не менее 24 часов и разницей между особями не более 8 часов.

Перед определением токсичности красителя Blue SPD было проведено предварительное биотестирование для определения диапазона разведений.

Результаты определения токсичности исходного раствора красителя Blue SPD представлены в таблице.

Таблица

Определение острой токсичности раствора Blue SPD

Концентрация исходного красителя в воде, %	Количество выживших дафний в трех повторностях		Смертность дафний в опыте, % к контролю	Оценка качества водной среды, %	
	контроль	опыт		ЛКР ₅₀₋₉₆	БКР ₁₀₋₉₆
2,4	30	30	0	11,22% концентрация сточных вод в растворе, разбавление в 8,9 раз	4,69% концентрация сточных вод в растворе, разбавление в 24,4 раз
4,8	30	28	6,7		
9	30	18	40,0		
11,1	30	13	56,7		
20	30	4	86,7		
33,3	30	3	90,0		
50	30	3	90,0		
100	30	3	90,0		

Примечание: состав исходного красителя (C[Blue SPD] – 49,58 мг/дм³, C[NaCl] – 3,3 г/дм³, C[Na₂CO₃] – 0,35 г/дм³, pH – 10,78, комнатная температура).

Как видно из представленных данных исходный раствор красителя Blue SPD обладает низкой токсичностью. Безопасная концентрация (БК) Blue SPD – 2,03 мг/дм³.

Кинетика живых тест-объектов *Daphnia magna Straus* представлена на рисунке. Как видно, ни при одном разбавлении не наблюдалось 100% гибели тест-объектов. За весь период продолжительности эксперимента 100%-ная выживаемость дафний наблюдается при концентрации раствора 1,24 мг/дм³, что соответствует кратности разбавления 1:40.

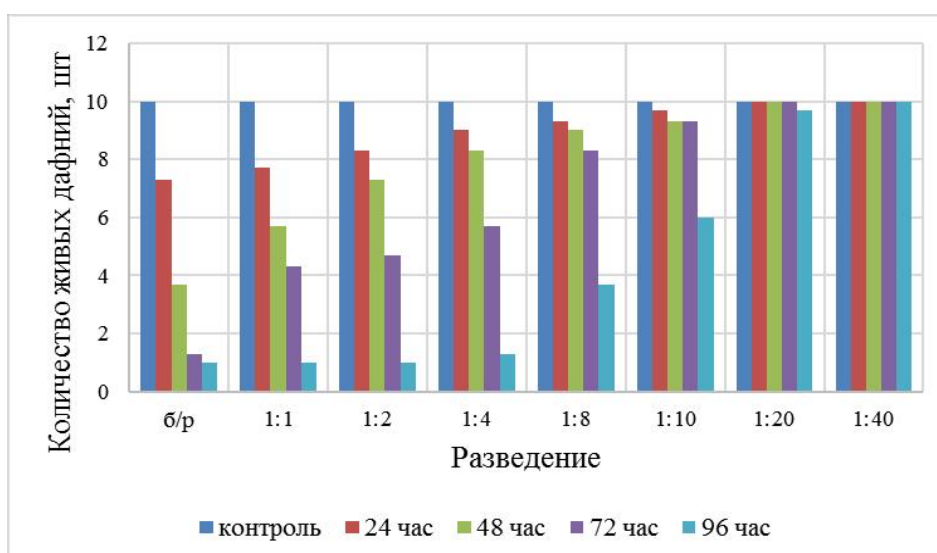


Рис. Кинетика количества живых дафний в зависимости от разбавления и времени тестирования (C[Blue SPD] – 49,58 мг/дм³, C[NaCl] – 3,3 г/дм³, C[Na₂CO₃] – 0,35 г/дм³, pH – 10,63, комнатная температура)

Безвредная кратность разбавления тестируемого вещества, когда погибает не более 10% тест-объектов, наблюдается при разбавлении в 24,4 раза и относится к относительно нетоксичной.

Таким образом, степень вредного воздействия красителя Blue SPD на окружающую природную среду низкая.

Библиографический список

1. Evaluation of the Potential Toxicity of Effluents from the Textile Industry before and after Treatment / A. M. Castro, V. Nogueira, I. Lopes, T. R. Santos, R. Pereira // *Applied Sciences*, 2019. V. 9. No. 18. P. 38. doi: 10.3390/app9183804
2. Каталитическая окислительная деструкция красителя азорубина в сточных водах / Т. В. Конькова, И. С. Белкина, А. Д. Стоянова, В. А. Колесников // *Теоретическая и прикладная экология*. 2021. № 4. С. 154–159. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-154-159
3. Брагинский Л. П. Некоторые принципы классификации пресноводных экосистем по уровням токсической загрязненности // *Гидробиологический журнал*. 1985. № 6. Т. 21. С. 65–74.
4. Балашова В. Л., Игнатенко А. В. Оценка токсичности и детоксикации сточных вод методом биотестирования подвижности клеток // *Водные ресурсы и климат : материалы V Междунар. Водного Форума*. в 2 ч. Минск : БГТУ, 2017. Ч. 2. С. 148–151.

ЭКОТОКСИЧНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕПАРАТА «ФАСКОРД», КЭ

Е. Р. Чернышенко, А. Р. Лицевич, Е. А. Наумова, Т. Н. Ажогина
Южный федеральный университет, chernyshenko@sfedu.ru

В статье представлены результаты определения генотоксичности и проокислительных свойств препарата на основе цельноклеточных бактериальных lux-биосенсоров. Выявлена способность препарата влиять на частоту возникновения устойчивых к рифампицину мутантов *A. calcoaceticus* ВКПМ В-10353.

Ключевые слова: экотоксичность, сельскохозяйственные препараты, мутагенез, биотестирование

На сегодняшний день сельское хозяйство немыслимо без применения препаратов, направленных на борьбу с вредителями растений. Специалисты насчитывают тысячи химических веществ и соединений, которые применяются для их защиты [1]. Одним из таких препаратов является контактно-кишечный инсектицид «Фаскорд», КЭ. Производитель – АО «Щелково Агрохим». Активным действующим веществом препарата является альфа-циперметрин (100 г/л), относится к классу пиретроидных соединений [2].

В исследовании была оценена возможность инсектицида «Фаскорд» стимулировать образование рифампицин-устойчивых микроорганизмов.

Мутагенную активность оценивали по появлению резистентных к рифампицину бактерий, выращиваемых на селективной среде. Оценивался как индуцированный, так и спонтанный мутагенез.

Генотоксичность и прооксидантный эффект оценивали с помощью генно-инженерных lux-биосенсоров *E. coli* MG1655 (pSoxS-lux), *E. coli* MG1655 (pKatG-lux), *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux), *E. coli* MG1655 (pRecA-lux). Для оценки токсичности служил фактор индукции (I), который рассчитывали по отношению биолюминесценции опытной пробы в присутствии тестируемого вещества к биолюминесценции контрольной пробы. При значении $I < 2$ токсичность вещества расценивали, как «слабую». При $2 \leq I \leq 10$ – как «среднюю». При $I > 10$ – как «сильную» [3].

В результате проведенных исследований показано, что препарат «Фаскорд» в концентрациях 0,01% и 0,00001% оказывает стимулирующее действие на частоту мутагенеза *A. calcoaceticus* ВКПМ В-10353. Наибольший эффект зарегистрирован для инсектицида в концентрации 0,01% – индуцированный мутагенез, по сравнению с показателем спонтанного, увеличился на 45%.

Концентрации препарата 1% и 0,1% оказались летальными для *A. calcoaceticus* ВКПМ В-10353.

Результаты биолюминесцентного тестирования с помощью цельноклеточных бактериальных сенсоров представлены в таблице.

Таблица

Токсичность препарата «Фаскорд», определенная методом биотестирования на основе цельноклеточных бактериальных lux-биосенсоров

Вариант	Токсичность, %					
	1	0,1	0,01	0,001	0,0001	0,00001
<i>E. coli</i> MG1655 (pSoxS-lux)	1,85±0,22*	0,84±0,09*	1,25±0,13*	1,1±0,21*	1,06±0,25*	1,09±0,09*
<i>E. coli</i> MG1655 (pKatG-lux)	18,85±1,56*	1,35±0,03*	1,22±0,09*	1,09±0,05*	1,1±0,02*	0,93±0,02*
<i>E. coli</i> MG1655 (pAlkA-lux)	27,3±1,67*	16,66±0,49*	2,02±0,46*	18,07±0,75*	20,97±0,8*	2,52±0,07*
<i>E. coli</i> MG1655 (pRecA-lux)	2,7±0,28*	1±0,04*	1,01±0,2*	1,14±0,11*	1,27±0,17*	1,13±0,24*

Примечание: * отличия от контроля статистически значимы, t-критерий; $p < 0,05$.

С помощью биосенсора *E. coli* MG1655 (pKatG-lux) обнаружены прооксидантные свойства препарата «Фаскорд». Данный биосенсорный штамм реагирует на присутствие перекиси водорода в среде.

Также во всех концентрациях пестицида был зарегистрирован высокий уровень или средний уровень генотоксичности при использовании биосенсорного штамма *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux), который свидетельствует о повреждении ДНК посредством алкилирования ДНК. Средний эффект генотоксичности для 1%-концентрации препарата выявлен с помощью биосенсора *E.*

coli MG1655 (pRecA-lux), который может быть вызван химическими веществами, повреждающими и блокирующими синтез ДНК.

Таким образом, было определено, что препарат «Фаскорд» наиболее токсичен в концентрации 1%. Была определена способность инсектицида повреждать ДНК, способствовать развитию окислительного стресса в клетке, а также стимулировать возникновение рифампицин-устойчивых микроорганизмов.

Представленные данные свидетельствуют о необходимости дальнейшего проведения исследования токсичности данного препарата с использованием расширенного комплекса методов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № 0852-2020-0029, Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

Библиографический список

1. Ашихмина Т. Я., Колупаев А. В., Широких А. А. Биотрансформация пестицидов в наземных экосистемах (обзор литературы) // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 2. С. 4–12. doi: 10.25750/1995-4301-2010-2-004-012
2. Справочник пестицидов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pesticidy.ru/pesticide/faskord> (дата обращения: 27.10.22))
3. Biosensor-based comparison of the ecotoxicological contamination of the wastewaters of Southern Russia and Southern Germany / Sazykin I. S., Sazykina M. A. et. al. // International Journal of Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 13. No. 3. P. 945–954. doi: 10.1007/s13762-016-0936-0

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИЙ ИЗ ЖЕЛАТИНА И РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ КАК ОСНОВЫ ДЛЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПЛЕНОК

*А. Д. Шелехов, А. Р. Киреева, А. И. Фокина
Вятский государственный университет, veles060@gmail.com*

В статье представлен опыт изготовления и исследования композиций из желатина и водных растительных экстрактов из хвои сосны и листьев подорожника, как основы для лекарственных плёнок. Определены некоторые свойства полученных плёнок.

Ключевые слова: желатин, лекарственные плёнки, экстракт, хвоя сосны, листья подорожника.

Спецификой кожевенного производства является образование большого (30–50% от массы сырья) количества отходов. Значительная часть отходов кожевенного производства ещё не нашла применения и вывозится в отвалы, что помимо материальных потерь, ведёт к загрязнению окружающей среды [1].

Одним из видов отходов являются недубленые отходы – это краевые участки шкур, образующиеся при контурировании, сырьевая и гольевая мездра, гольевой спилоч и обрезь. Особенностью этих отходов является содержание большого количества белка, а также примесей, не требующих специальной очистки при дальнейшей переработке отходов. По одному из направлений переработки часть коллагенсодержащих отходов подвергают гидролизу, а продукты гидролиза (гидролизаты) – различным модификациям. Примером частичного гидролиза коллагенсодержащих отходов является получение из них клея и желатина [2].

Желатин является важным гидроколлоидом и используется в качестве стабилизатора, загустителя, эмульгатора, пенообразующего и смачивающего агента для пищевого, фармацевтического, медицинского и технического применения из-за его поверхностно-активных свойств, а также для инкапсулирования пищевых добавок и активных веществ [3, 4].

Желатин привлекает внимание исследователей также хорошими технологическими свойствами: желатиновый гель легко формуется, хорошо воспринимает и высвобождает лекарственные вещества, имеющие различное агрегатное состояние и растворимость. Кроме того, при применении оказались полезными такие свойства, как гемостатическое и репаративное действие, способность сухих желатиновых плёнок впитывать экссудаты и прочно фиксироваться в месте аппликации за счёт собственной адгезии желатина [5, 6]. Поэтому, нами были изготовлены желатиновые плёнки с включенными в них растительными экстрактами, в данном случае это водный экстракт хвои сосны и листьев подорожника.

Лекарственная плёнка имеет ряд преимуществ: производство плёнок не требует технологически сложного оборудования, возможность сочетания различных групп действующих веществ, удобство применения из-за уменьшения частоты приёма (при пролонгированном высвобождении), достаточная мобильность для самостоятельного применения пациентом, возможность пролонгирования эффекта действующих веществ, поддержание постоянной концентрации действующих веществ, возможное снижение терапевтически активной дозы, в случае необходимости доза действующего вещества может быть увеличена путём нанесения дополнительной плёнки [7].

Хвоя сосны богата такими витаминами и минералами, как витамин А, бета-каротин, витамин В, железо, кобальт, марганец, цинк и т. д. Флавоноиды благотворно влияют на сердечно-сосудистую систему, дубильные вещества – применяются при кишечных заболеваниях как противовоспалительное средство [8].

Листья подорожника содержат богатый комплекс активных веществ, в том числе гликозид – аукубин с широчайшим спектром действия. Это вещество благотворно влияет на работу желудочно-кишечного тракта, обладает антимикробными, антисептическими, антивирусными, спазмолитическими, противовоспалительными и седативными свойствами [9].

Целью работы является исследование композиции из желатина и экстрактов листьев подорожника и хвои сосны как основы для лекарственных плёнок.

Для приготовления экстракта использовали 10 г растительного сырья, предварительно высушенного, измельчённого и просеянного через сито с диаметром отверстий 1 мм. Измельчённый растительный материал заливали 85 см³ дистиллированной воды и экстрагировали на кипящей водяной бане в течение 30 минут. Полученный экстракт фильтровали в мерную колбу вместимостью 100 см³ и доводили объём раствора водой до метки.

Плёнки изготавливали методом литья: 10 массовых частей желатина растворяли в 85 массовых частях экстракта на водяной бане до однородного состояния. Добавляли 10 массовых частей глицерина в качестве пластификатора. Полученную смесь разливали в силиконовые формы для получения пластинок толщиной 1 мм. Залитые формы оставляли на 24 часа при комнатной температуре, а затем убирали в эксикатор на 72 часа [10].

Паропроницаемость изучали путём определения массы водяного пара, проходящего через исследуемый материал. Плёнки с ненарушенной структурой, закрепляли на горлышке пробирки так, чтобы водяной пар в полном объёме проходил сквозь исследуемые образцы. Пробирки с закреплёнными на них плёнками были взвешены и повторное взвешивание проводили через 3, 9, 48 и 72 часа. Паропроницаемость рассчитывали по формуле:

$$q = \frac{10 \cdot \Delta m}{S},$$

где q – паропроницаемость, г/м²; Δm – изменение массы пробирки за исследуемое время, мг; S – испытываемая площадь образца, см² [11].

Абсорбционные свойства изучали по характеру набухания плёнок гравиметрическим способом. Предварительно взвешенную плёнку, размером 2,2х5 см помещали на капроновую сетку и опускали в ванну на поверхность дистиллированной воды. Повторное взвешивание плёнки проводили через 15, 30, 45 и 60 минут после начала опыта. Количество поглощённой воды рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{m_t \cdot 100\%}{m_0} - 100\%,$$

где X – количество поглощённой воды, %; m_t – масса образца плёнки в исследуемый момент времени; m_0 – масса плёнки до начала опыта [11].

Толщину плёнок измеряли при помощи микрометра.

Для определения краевого угла на исследуемый образец наносили каплю дистиллированной воды, фотографировали и определяли краевой угол при помощи онлайн транспорта [12].

Полученные плёнки тёмно-коричневого (с экстрактом подорожника) и светло-коричневые (с экстрактом хвои сосны) цвета, имеют приятный запах, поверхность гладкая, плотные, эластичные, однородные, плохо фиксируются на сухой поверхности. Толщина плёнок колеблется от 0,07 до 0,13 мм.

Установлена хорошая способность к набуханию: плёнка с добавкой экстракта подорожника поглотила 289,3% воды от собственного веса, с добавкой экстракта хвои сосны – 365,1%. Физический смысл этого показателя заключается в том, что высокая степень набухания (400–450%) свидетельствует о способности плёнок при нанесении на очаг поражения набухать, превращаясь в гель, переходящий в раствор, что благоприятно сказывается на заживлении, например, ран.

Паропроницаемость свидетельствует о фибриллярности структуры плёнки, её порозности и степени аэрации нижележащих под плёнкой тканей. В таблице приведены данные по динамике паропроницаемости исследуемых плёнок.

Таблица

Динамика паропроницаемости (г/м^2) плёнок на основе желатина и экстрактов из лекарственных растений

Исследуемый образец	Время, ч			
	3	9	48	72
1 (подорожник)	1,6	33,5	75,7	144,7
2 (хвоя сосны)	76,2	152,4	197,1	265,2

Установлено, что на паропроницаемость зависит от состава плёнок: например, плёнка с добавкой экстракта подорожника пропускает – $144,7 \text{ г/м}^2$ паров воды, экстракта хвои сосны – $265,2 \text{ г/м}^2$. Таким образом, степень аэрации нижележащих тканей меньше при добавке в плёнку экстракта подорожника, а значит, данная плёнка проявляет лучшие антимикробные свойства.

Значение краевого угла смачивания воды на твёрдой поверхности является важной характеристикой смачиваемости поверхности. Если молекулы жидкости взаимодействуют с молекулами твёрдого тела сильнее, чем между собой, то капля жидкости растекается по поверхности – смачивает её. Чем меньше значение краевого угла, тем выше смачиваемость твёрдой поверхности. Значения краевых углов у двух пластинок составляет 55° и 56° , что указывает на их смачиваемость.

Таким образом, плёнки из желатина с добавлением растительных экстрактов были изучены на паропроницаемость и способность к набуханию, были определены толщина и краевой угол. Установленные значения позволили сделать вывод об имеющемся потенциале у плёночных композиций из желатина, приготовленных на экстрактах из подорожника и хвои сосны, как лекарственных плёнок.

Библиографический список

1. Богданова И. Е. Современные направления переработки коллагенсодержащих отходов кожевного производства // Кожевенно-обувная промышленность. 2007. № 2. С. 30–31.
2. Борисенко Л. Н. Утилизация кожевенных отходов и эффективность их использования в народном хозяйстве // Кожевенная промышленность. 1991. № 2. С. 37.
3. Lobo L. Coalescence during Emulsification: 3. Effect of Gelatin on Rupture and Coalescence // Journal of Colloid and Interface Science. 2002. Vol. 254. No. 1. P. 165–174.

4. Nualkaekul S., Cook M. T., Khutoryanskiy V. V., Charalampopoulos D. Influence of encapsulation and coating materials on the survival of *Lactobacillus plantarum* and *Bifidobacterium longum* in fruit juices // Food Research International. 2013. Vol. 53. No.1. P. 304–311.
5. Ананьев В. Н., Новиков Ю. Т., Фурин В. А. Новая адресная иммобилизованная лекарственная форма – лекарственные желатиновые плёнки. М. : Медицинская книга, 2004. 216 с.
6. Балабанов В. И. Нанотехнологии. Наука будущего. М. : Эксмо, 2009. 256 с.
7. Плёнки в Российской косметологии и медицине: история развития, классификация / В. М. Кищенко, В. В. Верниковский, И. М. Привалов, А. М. Шевченко // Фармация и фармакология. 2020. Т. 8, № 2. С. 124–132.
8. Сосна обыкновенная: лекарственное растение [Электронный ресурс]. – URL: <https://lektrava.ru/encyclopedia> (дата обращения: 01.11.2022).
9. Листья подорожника: лечебные свойства, противопоказания, применение, отзывы врачей: [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kp.ru/doctor> (дата обращения: 01.11.2022).
10. Preparation and characterization of gelatin-based nanocomposite containing chitosan nanofiber and ZnO nanoparticles / S. Amjadi, S. Emaminia, Sh. H. Davudian, S. Pourmohammad, H. Hamishehkar, L. Roufegarinejad // Carbohydrate Polymers. 2019. Vol. 216. No. 15. P. 376–384.
11. Ковязина Н. А. Изучение физико-химических свойств плёнок лекарственных секстафаг // Вестник ВГУ, серия: химия, биология, фармация. 2022. № 1. С. 78–84.
12. Онлайн транспортер: [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ginifab.com> (дата обращения: 17.10.2022).

ВОЗМОЖНОСТИ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ВЕЩЕСТВ

**В. А. Козвонин^{1,2}, А. С. Олькова¹, В. В. Заварин³,
А. В. Сазанов¹, Е. В. Коледаева²**

¹ Вятский государственный университет, va_kozvonin@vyatsu.ru

² Кировский государственный медицинский университет, kf4@kirovgma.ru

³ ООО «Система-БиоТех», vvzavarin@mail.ru

Стандартные методы физико-химических анализов позволяют выявлять наличие потенциально токсичных соединений в окружающей среде, но их результаты не показывают влияния токсикантов на различные биологические виды. Данная информация может быть получена при изучении активности (экспрессии) генов, отвечающих за метаболизм токсичных веществ у живых организмов. Общая схема данного исследования включает получение суммарной РНК, синтез кДНК интересующих нас генов в реакции обратной транскрипции и проведение полимеразной цепной реакции realtime с оценкой графиков нарастания ДНК. Сравнение экспрессии коррелирует с активностью генов рибосомальной РНК (или иных генов «домашнего хозяйства»), которые экспрессированы постоянно, вне зависимости от условий окружающей среды. Данные исследования направлены не только на оценку токсичности сред, ве-

ществ и их смесей, но и на изучение молекулярных механизмов их токсического действия.

Ключевые слова: токсиканты, экспрессия генов, РНК, кДНК, полимеразная цепная реакция.

Загрязнение окружающей среды потенциально токсичными для живых организмов веществами является высокоактуальной проблемой мирового уровня [1–3]. Существующие методы физико-химического анализа позволяют определять концентрации токсикантов в окружающей среде и сравнивать уровень их содержания с утвержденными нормативами [4, 5]. Однако факт наличия токсиканта в среде обитания и даже его содержание выше уровня ПДК не означает однозначного негативного воздействия на биоту, а также не сообщает о степени данного воздействия. В то же время методы биотестирования предназначены для установления реакций живых организмов на сложившееся загрязнение по регистрируемым токсическим эффектам [6, 7].

Одним из наиболее перспективных направлений развития методов биотестирования является оценка токсических эффектов с помощью современных молекулярно-генетических методик, позволяющих выявлять активность (экспрессию) генов белковых молекул задействованных в детоксицирующих метаболических путях.

Общая схема такого исследования предполагает следующие этапы:

1. Выделение суммарной РНК из интересующего нас организма. Может проводиться с использованием стандартных наборов, например, RNA Solo [8] для выделения суммарной РНК на колонках из клеток и мягких тканей человека и животных, бактерий, дрожжей. RNA Solo позволяет осуществить лизис клеток, ингибирование РНКаз для сохранности РНК, очищение РНК от ДНК с помощью ДНКазы, сорбцию и очистку РНК на микроцентрифужной колонке, элюцию РНК в водный раствор. Желательно соблюдение критериев целостности препарата, полного удаления примеси геномной ДНК с помощью ДНКазы, отсутствие этапа органической фенол-хлороформной экстракции, а также минимальный риск контаминации рабочего пространства. Рекомендуется проводить выделение из живых или свежих объектов. Допустимо использовать свежзамороженный в жидком азоте биоматериал или сохраненный с помощью консерванта (например, IntactRNA [9]). IntactRNA – нетоксичный водный фиксатор, предназначенный для быстрой стабилизации клеточной РНК в тканях и клеточных культурах. Фиксатор быстро проникает в ткани и клетки и защищает РНК от деградации даже при комнатной температуре. Это позволяет транспортировать, пересылать и хранить зафиксированные образцы без замораживания до 7 дней. Применение IntactRNA позволяет быстро зафиксировать большое количество образцов не прибегая к ресурсоемким процедурам быстрого выделения РНК или замораживания жидким азотом. Суммарный препарат РНК, выделенный из зафиксированных фрагментов ткани, сохраняет качественный и количественный состав и может за-

тем быть использован в любых молекулярно-биологических приложениях. Чистота выделенной суммарной РНК контролируется по спектрофотометрическим показателям.

2. Проведение реакции обратной транскрипции возможно с применением обратной транскриптазы MMLV и набора «MMLV RT kit» [10]. Позволяет осуществить синтез первой цепи кДНК с одноцепочечной РНК-матрицы. Фермент получен из рекомбинантного штамма *E. coli*, экспрессирующего ген MMLV ревертазы дикого типа, обладает слабой активностью РНКазы Н, и позволяет синтезировать кДНК длиной до 5 т.п.о. MMLV ревертаза идет вместе со специально подобранным 5X реакционным буфером, а также с буфером для разведения, который позволяет подобрать оптимальные условия для реакции обратной транскрипции, так же в набор входит смесь дезоксинуклеозидтрифосфатов, стерильную воду, олиго(dT) и случайный декануклеотидный праймеры, что позволяет использовать его для синтеза кДНК с различных РНК-матриц (как полиА+, так и неполиаденилированных). Минимальное стартовое количество РНК для синтеза первой цепи кДНК составляет 100 нг тотальной или полиА+ РНК.

3. Полученная кДНК используется для проведения полимеразной цепной реакции в нескольких повторностях для получения статистически достоверных результатов. На данном этапе возможно применение смеси для ПЦР 5X qPCRmix-HS SYBR [11], включающей HS Taq ДНК полимеразу, краситель SYBR Green I, смесь дезоксинуклеозидтрифосфатов, Mg^{2+} , реакционный буфер. Для постановки ПЦР в смесь требуется добавить праймеры, матрицу ДНК и воду. Праймеры синтезируются к генам, кодирующим интересующие нас детоксицирующие белки. Это могут быть белки теплового шока, металло-тионеина (А и В), каталазы и ферритина, а так же иные. В качестве нормализующего контрольного показателя при обработке результатов исследований методом относительной квантификации (метод дельта Ct) могут использоваться показатели экспрессии генов «домашнего хозяйства» – например рибосомальных или актина и подобных эндогенных референс-генов [12]. Под относительной экспрессией понимается отношение:

$$\frac{E^{(Ct \text{ референс-ген})}}{E^{(Ct \text{ ген интереса})}}$$
, где E – эффективность реакции, Ct – пороговый цикл.

Выводы: 1. Предлагаемая методика проведения оценки экспрессии генов, задействованных в детоксикационных процессах, является, по сути, универсальной и может применяться для оценки влияния на живые организмы широкого спектра загрязняющих веществ и их соединений. Основной принцип данного подхода заключается в констатации факта избирательного увеличения генной активности, направленной на нейтрализацию повреждающего фактора.

2. Разработка молекулярно-генетических методов биотестирования является перспективной с точки зрения обнаружения наиболее низких концентраций токсикантов, вызывающих первоначальные молекулярные эффекты, обычно не приводящие к морфо-физиологическим нарушениям у живых ор-

ганизмов в краткосрочном периоде, но впоследствии связанных с риском проявления хронических и отсроченных эффектов.

3. Исследования действия потенциально токсичных веществ и их смесей методом исследования экспрессии генов позволят выявлять механизмы формирования токсического эффекта и развития токсического процесса на молекулярном уровне.

Библиографический список

1. Шаповалов Д. А. Загрязнение природной среды. глобальный и региональный аспекты. М. : Изд-во Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 1999. 85 с.

2. Droz L. The concept of milieu in environmental ethics: Individual responsibility within an interconnected world. Kyoto, Japan : Kyoto University, 2021. 198 p. doi: 10.4324/9781003172208

3. Совместное действие экологически опасных факторов / А. Ю. Исаева, Ю. И. Хрипков, Д. Л. Поклонский, Д. А. Зыгин, Е. А. Семёнов, Е. Е. Лагуткина // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 4. С. 25–31. doi: 10.25750/1995-4301-2017-4-025-031

4. Химические основы экотоксикологии : учебное пособие / А. И. Фокина, С. Ю. Огородникова, А. С. Олькова, С. Г. Скугорева, Е. И. Лялина. Киров : Изд-во «Лобань», 2015. 266 с.

5. Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science. Analytical Techniques for Environmental and Industrial Analysis / Eds. Inamuddin, R. Boddula, A. M. Asiri. 2020. 288 p. doi: 10.1016/C2019-0-03710-7

6. Ismail M. M., Hassan M., Essam T. M. Biological testing and toxicity bioassays in biodegradation: toward better process control // Toxicity and Biodegradation Testing. Book Series: Methods in Pharmacology and Toxicology / Eds. E. D. Bidoia, R. N. Montagnolli. Totowa, USA : Humana Press INC, 2018. P. 185–205. doi: 10.1007/978-1-4939-7425-2_9

7. Bosch-Orea C., Farre M., Barcelo D. Biosensors and bioassays for environmental monitoring // Past, present and future challenges of biosensors and bioanalytical tools in analytical chemistry: a tribute to professor marco mascini. Book Series : Wilson and Wilsons Comprehensive Analytical Chemistry / eds. I. Palchetti, P. D. Hansen. Amsterdam. Netherlands : Elsevier Science BV, 2017. Vol. 77. P. 337–383. doi: 10.1016/bs. coac. 2017. 06. 004

8. Набор RNA Solo для выделения суммарной РНК на колонках из клеток и мягких тканей человека и животных, бактерий, дрожжей [Электронный ресурс]. – URL: <https://evrogen.ru/kit-user-manuals/RNASolo.pdf> (дата обращения: 20.10.2022).

9. Фиксатор IntactRNA для стабилизации РНК в биологических образцах [Электронный ресурс]. – URL: <https://evrogen.ru/kit-user-manuals/intactRNA.pdf> (дата обращения: 20.10.2022).

10. MMLV RT kit. Набор реактивов для синтеза первой цепи кДНК на РНК-матрице. [Электронный ресурс]. – URL: https://evrogen.ru/kit-user-manuals/MMLV_SK021.pdf (дата обращения: 20.10.2022).

11. Реакционная смесь 5X qPCRmix-HS SYBR для ПЦР в реальном времени с интеркалирующим красителем SYBR Green [Электронный ресурс]. – URL: https://evrogen.ru/kit-user-manuals/qPCRmix-HS-SYBR_PK147.pdf (дата обращения: 20.10.2022).

12. Schmittgen T. D., Livak K. J. Analyzing real-time PCR data by the comparative C(T) method // Nat Protoc. 2008. Vol. 3. No. 6. P. 1101–1108. doi: 10.1038/nprot.2008.73

ОЦЕНКА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ГИДРОБИОНТОВ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

*О. В. Никитин, Э. И. Насырова, Е. В. Перевозчикова, П. А. Андреев,
Д. Ю. Гизатуллин, В. З. Латыпова*
Казанский (Приволжский) федеральный университет, *olnova@mail.ru*

В статье представлены сведения о программно-аппаратном комплексе «Анализатор токсичности TrackTox», позволяющем осуществлять оценку двигательной активности гидробионтов при помощи технологии компьютерного зрения в условиях варьирования различных факторов эксперимента (температура, интенсивность освещения, проточность).

Ключевые слова: гидробионты, компьютерное зрение, поведение, двигательная активность, экологический фактор.

Мониторинг качества пресной воды и её потенциального загрязнения является неотъемлемой частью обеспечения здоровья человека, устойчивого экономического развития и прогнозирования воздействия загрязняющих веществ на водные экосистемы. Несмотря на значительный прогресс в технологиях автоматизированного отбора проб и непрерывного анализа физико-химических параметров воды, современные возможности для предупреждения в режиме реального времени всё ещё ограничены. Обычные системы химического анализа не подходят для оценки неизвестных смесей химических веществ, а также аддитивного и/или синергетического воздействия на биологические системы. С точки зрения нейротоксикологии острые воздействия химических агентов, которые воздействуют на нервную систему и могут попасть в воду случайно или в результате преднамеренного действия, могут быть надежно оценены только с использованием соответствующих функциональных биологических моделей [1]. Поэтому актуальной проблемой обеспечения экологической безопасности поверхностных вод является поиск и разработка «систем раннего биологического предупреждения» (*biologically early warning systems, BEWS*), предназначенных для оперативного выявления нештатных и чрезвычайных экологических ситуаций, как природного, так и антропогенного характера, представляющих опасность для экосистем и здоровья человека [2].

В разработке систем раннего биологического предупреждения применяется принцип приборного биотестирования, когда тест-организмы (биосенсоры) служат оперативными сигнализаторами возникновения экологически опасного уровня загрязнения воды, а регистрация функциональных показателей организмов осуществляется в автоматическом режиме аппаратной частью системы без участия оператора [3].

Перечень тест-реакций можно существенно расширить, если использовать дополнительные сведения по тест-объекту, основанные на его функцио-

нальных показателях, в том числе и поведенческие реакции. Это позволяет проводить оценку качества водной среды более оперативно и отслеживать более низкие концентрации токсикантов [4–6]. Для решения этой проблемы всё чаще начинают использовать технологию компьютерного зрения, которая позволяет осуществлять оценку плавательной активности более точно, с описанием дополнительных поведенческих особенностей (скорость плавания, подвижность, угловые движения, продолжительность пребывания в определенной зоне). Кроме того, использование компьютерного зрения позволяет производить непрерывные наблюдения в течение длительного времени.

Подобный подход позволяет выявлять опасную ситуацию в том случае, когда методы физико-химического мониторинга могут давать сбой. Это связано с тем, что традиционные подходы ориентированы на определение регламентированного ограниченного перечня показателей. В случае появления в воде ингредиентов, не учитываемых при стандартном контроле, повышается уровень экологических рисков, что может привести к причинению вреда как здоровью человека, так и экосистемам. Подходы биологического мониторинга, основанные на интегральной оценке качества среды, могут зарегистрировать опасность на самых ранних этапах, для самого широкого перечня загрязняющих соединений, обеспечивая таким образом возможность оперативной реакции на сложившуюся ситуацию и как следствие – обеспечивая экологическую безопасность поверхностных вод и понижая уровень экологического риска.

На кафедре прикладной экологии КФУ разработана система для слежения за поведенческими характеристиками гидробионтов – «Анализатор токсичности TrackTox» (рис. 1).



Рис. 1. Программно-аппаратный комплекс «Анализатор токсичности TrackTox»

Аппарат представляет из себя устройство, внутрь которого помещается кювета с гидробионтами (рис. 2). В аппарат встроена камера, которая передает запись на компьютер с установленной специализированной программой «TrackTox». Указанная программа способна распознавать тест-организмы на видео и сохранять координаты движения объектов на компьютере. Результа-

том анализа является табличный файл, доступный для последующей статистической обработки. В табличном виде представлена следующая информация по каждой точке: текущая временная позиция в видеофайле, координаты тест-объекта (по оси x и y), скорость, пройденное расстояние за единицу времени, высота плавания относительно дна кюветы, ориентация в пространстве, сложность траектории (фрактальная размерность) [7]. Программой предусмотрена возможность предварительной калибровки для конвертации расстояний, выраженных в пикселях изображения, в сантиметры.

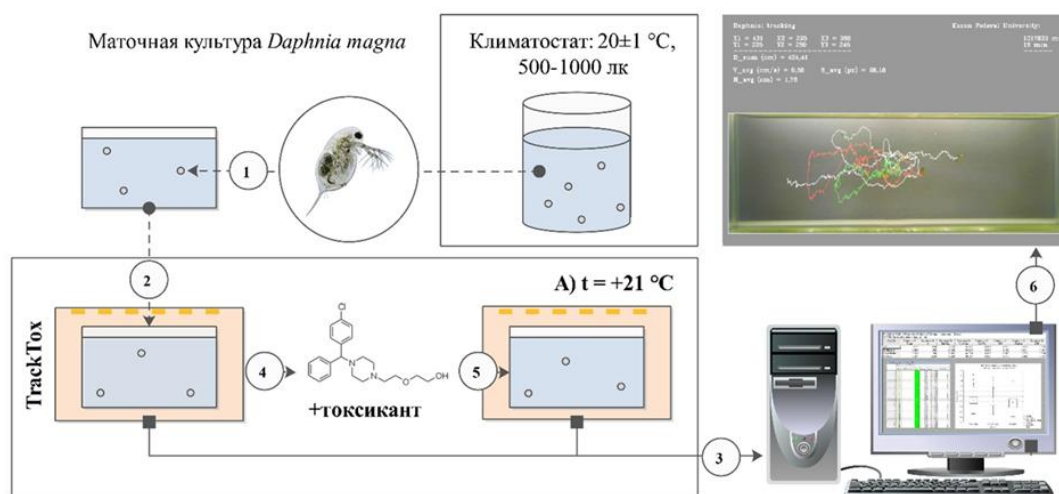


Рис. 2. Общая схема использования «Анализатора токсичности TrackTox»

Важно отметить, что анализатор «TrackTox» обладает техническими возможностями поддержания температуры и уровня освещенности внутри аппарата, тем самым создавая для тестируемых организмов условия среды, приближенные к культивируемым, и уменьшая воздействие температурных или световых раздражителей. В качестве устройств для поддержания температуры аппарат оснащен такими техническими элементами, как термоэлектрическая система охлаждения на элементе Пельтье, вентиляторы для отвода тепла и распределения охлажденного воздуха, алюминиевый радиатор, программируемый микропроцессорный контроллер температуры с цифровым индикаторным дисплеем. Выбор режима и интенсивности освещения возможен благодаря наличию светодиодного освещения (LED) различного спектрального класса (ультрафиолетовый, белый, ближний инфракрасный). Помимо оптимальных параметров, аппаратная часть анализатора может моделировать дополнительные условия проведения эксперимента. Например, можно варьировать температуру и уровень освещения [8]. Можно наблюдать за реакцией тест-объектов под воздействием УФ-излучения ($\lambda = 390\text{--}395$ нм) или в условиях отсутствия видимого света (0 лк). Возможность наблюдения за двигательной активностью не только в условиях наличия освещенности, но и при полном отсутствии видимого света позволяет конструировать полноценные системы биологического мониторинга качества воды, приближенные к есте-

ственному жизненному циклу гидробионтов, а также дополнительно анализировать проявления фототаксиса.

В качестве дополнительной приставки к анализатору была разработана установка для оценки плавательной активности в различных гидродинамических условиях, состоящая из проточной камеры, перистальтических насосов и соединяющих силиконовых шлангов, обеспечивающая устойчивый регулируемый водообмен в тестовой камере [9]. Применение динамической проточной системы в экспериментах может иметь несколько преимуществ: 1) проточность обеспечивает лучший контакт организма с исследуемой средой, обновление токсиканта позволяет поддерживать исследуемый токсический фактор на постоянном уровне; 2) наличие проточности позволяет конструировать системы непрерывного мониторинга за окружающей средой, в том числе и автономные; 3) проточность может имитировать условия лотических экосистем, что может дать возможность оценивать воздействие на реофильные организмы; 4) плавание в условиях течения требует повышенных энергетических затрат, следовательно дафнии могут оказаться в таких условиях более чувствительными к токсикантам, что может позволить разрабатывать более чувствительные токсикологические тесты.

Первоначально анализатор «TrackTox» был предназначен для наблюдения за планктонными беспозвоночными (представители родов *Daphnia*, *Ceriodaphnia*), однако развитие работ в этой области показало возможность использования системы и для наблюдения за другими гидробионтами, в частности за рыбами [10, 11]. Была создана биоэлектронная система контроля качества воды на основе этологических биомаркеров *Danio rerio*. Помимо ранее определявшихся характеристик (координаты тест-объекта; его ориентация в пространстве; средняя длина сегмента пути; общее проплываемое расстояние; затраченное время на расстояние и скорость плавания), в системе были реализованы новые возможности: определение группировки рыб относительно друг друга (агрегированность), возможность слежения за объектом в трехмерном пространстве, одновременное слежение за множеством объектов (6 и более). При совместном использовании системы с кайромонами возможно отслеживание отдельных социальных особенностей в поведении рыб, выражающихся в демонстрации агрессивного поведения и акинезии.

Внедрение в практику систем, основанных на поведенческих особенностях гидробионтов, может позволить добиться повышения объективности при проведении экологического мониторинга, информирования о состоянии окружающей среды в режиме реального времени, учета опасности неучтенных веществ. В целом возможные области применения подобных систем довольно обширны: производственный экологический контроль, экологический мониторинг, оценка экологического риска, контроль качества воды на водозаборах и очистных сооружениях, контроль качества воды в рыбоводных хозяйствах, токсикологические исследования объектов окружающей среды, оценка безопасности веществ и материалов, научные исследования, образовательная деятельность.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2022-0003.

Библиографический список

1. Bownik A., Wlodkowic D. Advances in real-time monitoring of water quality using automated analysis of animal behaviour // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 789. Article No. 147796. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147796
2. Холодкевич С. В., Шаров А. Н., Кузнецова Т. В. Перспективы и проблемы использования биоэлектронных систем в мониторинге состояния экологической безопасности акваторий финского залива // *Региональная экология*. 2015. № 1 (36). С. 66–76.
3. Системы и технологии раннего биологического оповещения общей токсичности воды [Электронный ресурс]. – URL: http://ecocontour.ru/produkcija_2 (дата обращения: 01.11.2022).
4. Nikitin O. Aqueous medium toxicity assessment by *Daphnia magna* swimming activity change // *Advances in Environmental Biology*. 2014. Vol. 8 (13). P. 74–78.
5. Bownik A. *Daphnia* swimming behaviour as a biomarker in toxicity assessment: A review // *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 601–602. P. 194–205. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.199
6. К вопросу выбора тест-чувствительных гидробионтов для биотестирования воды в лабораторных, производственных и естественных условиях / С. А. Нефедова, А. А. Коровушкин, Д. Г. Минин, Л. Б. Зутова, И. А. Ипатов // *Теоретическая и прикладная экология*. 2014. № 3. С. 14–20. doi: 10.25750/1995-4301-2014-3-014-020
7. Nikitin O. V., Petrova V. M., Latypova V. Z. Bioassay of pyrethroid insecticide esfenvalerate using fractal analysis of *Daphnia magna* motion // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2015. Vol. 6 (6). P. 1729–1736.
8. Effect of various temperature and light intensity regimes on *Daphnia magna* swimming behaviour / O. Nikitin, E. Nasyrova, A. Kalinina, K. Sadykova, V. Latypova // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019 : Conference proceedings. Ecology and Environmental Protection, Albena. 2019. Vol. 19. P. 229–236. doi: 10.5593/sgem2019/5.1/S20.029
9. Гизатуллин Д. Ю., Никитин О. В. Плавательное поведение *Daphnia magna* в статических и проточных условиях // *Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 233–238.*
10. Система биоэлектронной регистрации качества воды на основе поведенческих характеристик рыб / О. В. Никитин, Д. Д. Гребенщикова, А. О. Белов, Э. И. Насырова, В. З. Латыпова // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Вятский государственный университет, 2018. С. 87–92.*
11. Насырова Э. И., Никитин О. В., Латыпова В. З. Система биологического мониторинга для непрерывного контроля качества воды с использованием рыб как организмов-биосенсоров // *Химия и инженерная экология – XIX : сб. трудов междунар. науч. конф., посвященной 150-летию периодической таблицы химических элементов. Казань : ИП Сагиева А. Р., 2019. С. 234–237.*

СЕКЦИЯ 3 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ НИЗКОГОРНЫХ ЛАНДШАФТОВ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Е. М. Лантева, О. В. Шахтарова, Ю. В. Холопов, С. В. Денева
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
lapteva@ib.komisc.ru

Определены запасы органического углерода в почвах модельного участка, характеризующего разнообразие почв предгорий Приполярного Урала. Показано, что запасы почвенного углерода возрастают в ряду: автоморфные почвы лесных сообществ → автоморфные почвы тундровых сообществ → полугидроморфные почвы → гидроморфные почвы. Показана необходимость обязательного определения плотности почвенных горизонтов при проведении полевых исследований почв.

Ключевые слова: почвы, органический углерод, запасы углерода, Приполярный Урал.

Почвы и почвенный покров являются основным резервуаром депонирования органического углерода ($C_{\text{орг.}}$) на Земле, запасы которого в 3-5 раз превышают $C_{\text{орг.}}$ в биомассе растений [1]. Для понимания роли почв в глобальном балансе углерода, продукции и эмиссии парниковых газов, прогноза изменения среды в условиях региональных и глобальных изменений климата важна оценка содержания и запасов $C_{\text{орг.}}$ в различных типах почв. Особенно актуально это для территории России, на долю которой приходится порядка 1/8,5 части суши Земли [2]. В Республике Коми – крупнейшем регионе Европейского Северо-Востока проведены расчеты запасов углерода в некоторых типах равнинных почв таежной зоны [3], тундры и лесотундры [4], в почвах горных ландшафтов западного макросклона Приполярного Урала [5]. Низкогорные ландшафты Уральского хребта в данном аспекте не были рассмотрены.

Цель данной работы заключалась в характеристике разнообразия почв, формирующихся в низкогорных ландшафтах Приполярного Урала, и оценке в них содержания и запасов почвенного органического углерода.

Объектом исследования послужил модельный участок общей площадью около 34,5 тыс. га (координаты: 65°30' – 65°50' с. ш., 60°30' – 61°15' в. д.). Участок расположен в предгорьях западного макросклона Приполярного Урала (Республика Коми, МО ГО «Инта»). Высотный уровень западной части участка не превышает 402–417 м над ур. м., в среднем составляя около 300–

380 м над ур.м. Ее растительный покров представлен преимущественно тундровыми сообществами. В восточной части, в пределах которой склоновые поверхности возвышенностей покрыты в основном елово-березовыми лесами, большая часть территории имеет абсолютные высоты около 340–450 м над ур. м., однако отдельные вершины могут достигать 507–578 м над ур. м.

Для данного участка на основе результатов полевых исследований, проведенных в период с 2013 по 2016 гг., а также всех имеющихся опубликованных данных о почвах региона, составлен список почв и база данных с информацией о содержании в почвах углерода и плотности почв. При отсутствии данных о величине плотности почв использовали расчетные величины в соответствии с рекомендациями [6]. База данных включает 74 почвенных разреза, которые сгруппированы в соответствии с типовой и подтиповой принадлежностью почв (табл.). Для каждого разреза рассчитывали запасы $C_{орг.}$ в органо-генном слое и в слоях почвы 0–50 и 0–100 см. Для почв с близким залеганием щебнистых или массивно-кристаллических пород расчеты ограничивали 50-сантиметровой толщей или общей мощностью профиля в соответствии с глубиной залегания щебня и каменистых обломков.

Таблица

Мощность органогенного горизонта и запасы органического углерода в основных типах почв низкогорных ландшафтов Приполярного Урала

Почвы*	Мощность ОГ**, см	Запас $C_{орг.}$ в слое почвы, кг C/m^2		Вклад ОГ, %
		0–50 см	0–100 см	
Подбуры, в т.ч. глееватые (9)	4,4±2,4***	20,3±13,4	–	32,9±25,0
Торфяно-подбуры (3)	10,3±1,2	37,7±7,8	37,7±7,8****	76,0±1,5
Глееземы (4)	4,5±2,4	17,0±9,3	18,7±9,3****	37,4±19,9
Торфяно-глееземы, в т. ч. мерзлотные (5)	20,8±6,6	37,3±19,2	41,2±35,7****	81,2±17,0
Подзолы (6)	4,5±3,1	9,5±6,3	10,6±4,2	20,8±14,0
Светлоземы (3)	5,3±1,2	9,3±8,5	13,8±2,0	27,2±12,9
Буроземы и дерново-криометаморфические (6)	5,7±4,2	11,0±8,0	16,6±9,3****	24,3±10,9
Подзолистые, в т.ч. глееподзолистые (5)	5,4±2,6	9,4±4,6	10,4±4,4	48,0±22,7
Торфяно-подзолисто-глеевые (4)	18,3±3,9	36,0±19,9	37,6±20,8	81,4±13,5
Почвы на выходах карбонатных пород (7)	4,9±2,7	17,6±3,5	20,2±6,1****	33,7±20,9
Аллювиальные (13)	6,8±3,8	11,0±5,6	12,5±2,1	33,1±19,2
Торфяные (9)	100	130,5±76,6	266,3±225,5	98,6±1,7

Примечание: * в скобках приведен объем выборки; ** ОГ – органогенный горизонт; *** приведены: среднее арифметическое ± среднее квадратичное отклонение; **** с учетом мощности всего профиля почвы, если она меньше 100 см.

В почвах Севера основным горизонтом, в котором происходит аккумуляция органического вещества, является органогенный горизонт [7]. В почвах

лесных экосистем – это горизонт лесной подстилки, в почвах тундровых и болотных экосистем – оторфованный, торфяно-подстилочный горизонт, в аллювиальных почвах – дерновый горизонт (дернина). Анализ полученных материалов показал, что практически все почвы, формирующиеся в автоморфных позициях ландшафтов, вне зависимости от характера растительного сообщества (тундровые сообщества, лесные сообщества), характеризуются близкими значениями мощности органогенных горизонтов, составляющими в среднем 4-5 см (табл.). В аллювиальных почвах долинных ландшафтов, формирующихся в пойменных луговых сообществах, мощность дернового горизонта несколько выше, но достоверно не отличается от ранее рассмотренных почв. Существенное возрастание мощности органогенных горизонтов характерно для полугидроморфных почв – торфяно-подбуров, торфяно-глееземов и торфяно-подзолисто-глеевых почв. Это обусловлено снижением скорости разложения растительного опада в условиях периодического переувлажнения и его консервацией в форме оторфованной подстилки. Накопление органического материала в форме лесных подстилок и оторфованных горизонтов обуславливает их существенный вклад в аккумуляцию почвенного органического вещества: для автоморфных почв он составляет 21–48%, для полугидроморфных почв – до 80%, для болотных почв (учитывая мощность торфяной залежи) – практически до 100%.

Минимальными запасами $C_{орг.}$, вне зависимости от гранулометрического состава почвообразующих пород, характеризуются автоморфные почвы лесных экосистем (подзолы; подзолистые, в т.ч. глееподзолистые; светлосеземы) и аллювиальные почвы долинных ландшафтов – в среднем 10–12 кг С/м². Второе место по запасам $C_{орг.}$ принадлежит почвам тундровых сообществ (подбуры, буроземы, дерново-криометаморфические, глееземы) и почвам, формирующимся на выходах карбонатных пород – в среднем 16–20 кг С/м². Третье место занимают все варианты полугидроморфных почв – в среднем 37–41 кг С/м², четвертое – торфяные почвы болот – в среднем 260–270 кг С/м².

Сопоставление рассчитанных нами запасов $C_{орг.}$ (табл.) с опубликованными ранее данными по различным регионам Республики Коми [3–5] свидетельствует о более высоких значениях запасов $C_{орг.}$ в почвах модельного участка, расположенного в низкогорных ландшафтах Приполярного Урала, особенно это касается полугидроморфных и гидроморфных почв. В то же время для отдельных типов почв (подбуры, подзолы) полученные нами значения близки к результатам других авторов. Более высокие значения запасов $C_{орг.}$, полученные нами для полугидроморфных и гидроморфных почв, могут быть обусловлены использованием расчетных данных по величине плотности почв, которые дают завышенные значения для лесных подстилок и торфяных горизонтов. Это требует обязательного включения при проведении полевых исследований процедуры определения плотности почвенных горизонтов.

Работа выполнена в рамках темы ВИП ГЗ «Оценка запасов углерода в фитомассе, мортмассе, почве еловых и сосновых экосистем, почвенной

эмиссии и экосистемного обмена парниковых газов в хвойных лесах и основных типах болот таежной зоны на европейском северо-востоке Российской Федерации» (№ 122101000005-8).

Библиографический список

1. Кудеяров В. Н. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1049–1060. doi:10.7868/S0032180X15090087
2. Запасы органического углерода в почвах России / Д. Г. Щепашенко, Л. В. Мухоморова, А. З. Швиденко, Э. Ф. Ведрова // Почвоведение. 2013. № 2. С. 123–132. doi: 10.7868/S0032180X13020123
3. Osipov A. F., Bobkova K. S., Dymov A. A. Carbon stocks of soils under forest in the Komi Republic of Russia // Geoderma Regional. 2021. Vol. 27. P. e00427. doi: 10.1016/j.geodrs.2021.e00427
4. Пастухов А. В., Каверин Д. А. Запасы почвенного углерода в тундровых и таежных экосистемах северо-восточной Европы // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1084–1094.
5. Дымов А. А., Жангуров Е. В., Старцев В. В. Почвы северной части Приполярья Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение, 2013. № 5. С. 507–516.
6. Честных О. В., Замолотчиков Д. Г. Зависимости плотности почвенных горизонтов от глубины их залегания и содержания гумуса // Почвоведение. 2004. № 8. С. 937–944.
7. Забоева И. В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 343 с.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОРБЦИИ ИОНОВ НИКЕЛЯ ПОЧВАМИ УДМУРТИИ

М. А. Шумилова

УдмФИЦ УрО РАН, shumilovama@udman.ru

В работе представлены результаты определения кинетических параметров сорбции ионов никеля почвами Удмуртской Республики. Установлено, что кинетика исследуемого процесса представляет собой комбинацию внешней и внутренней диффузионной кинетики; при этом модель псевдо-второго порядка лучше описывает экспериментальные данные для всех изученных типов почв.

Ключевые слова: никель, почва, сорбция, кинетика сорбции, диффузия, модель реакции псевдо-первого и псевдо-второго порядка.

Развитие промышленности обуславливает поступление в природные среды все большего количества загрязняющих веществ, значительная часть из них принадлежит тяжелым металлам (ТМ), в частности, ионам никеля, занимающим лидирующие позиции по площади загрязненных территорий [1]. Способность накопленных в почве ионов никеля при изменяющихся внешних условиях вновь переходить в растворенное состояние, диктует необходимость изучения кинетики сорбционного процесса между ионами металла и почвой. Учитывая слабую изученность кинетики адсорбции ионов никеля наиболее

распространенными типами почв, сформированными на территории республики, целью представленной работы является исследование кинетических закономерностей сорбции ионов никеля почвами Удмуртии.

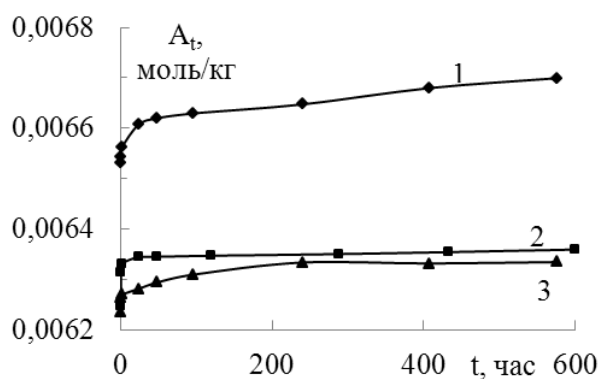
Лабораторный эксперимент по изучению кинетики сорбции ионов никеля проводили в статических условиях взаимодействия водного раствора соли с верхним гумусовым горизонтом дерново-подзолистой, дерново-карбонатной и серой лесной почв методом ограниченного объема при температуре 293 ± 1 К. Для минимизации воздействия реакций ионного обмена на процесс поглощения исследования проводили с применением 0,01М CaCl_2 в качестве фонового раствора; соотношение почва : раствор равнялось 1:10, при этом размер почвенных частиц не превышал 0,1 мм. Время контакта раствора с почвой варьировалось от 0,5 до 600 час, после чего образцы центрифугировали. Количество поглощенных почвой ионов никеля в момент времени t рассчитывали по формуле:

$$A_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m}, \quad (1)$$

где A_t – величина адсорбции в момент времени t , моль·кг⁻¹; C_0 – начальная концентрации ионов никеля в растворе, М; C_t – концентрация иона никеля в растворе в момент времени t , М; V – объем раствора, дм³; m – масса почвы, кг. Концентрацию ионов никеля в фильтрате определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Все кинетические параметры рассчитаны методом наименьших квадратов [2].

Время достижения равновесия между сорбируемым ионом металла и почвой устанавливают экспериментально, отбирая пробы надосадочной жидкости через определенные промежутки времени [3]. Представленные на рисунке 1 кривые сорбции никеля разными типами исследуемых почв показывают, что скорость сорбции на начальном этапе максимальна для всех трех типов почвы, при приближении к состоянию равновесия она уменьшается. В течение первых 30 мин поглощается ~97% от внесенной соли на дерново-карбонатной и серой лесной почвах и ~93% на дерново-подзолистой почве.

Известно [4], что до наступления состояния равновесия на пористом сорбенте процесс сорбции включает четыре основных стадии: транспортировку адсорбтива, внешнюю диффузию пленки, внутренний (пористый) перенос, собственно адсорбция. При изучении кинетики сорбции устанавливают, какая стадия – диффузионная или химическая является лимитирующей стадией процесса. Диффузионная кинетика подразделяется на внешнедиффузионную и внутريدиффузионную: первая определяется временем переноса ионов из раствора к сорбенту, вторая характеризуется временем переноса ионов сорбтива внутри самого сорбента [5].



Условные обозначения: 1 — дерново-подзолистая; 2 — дерново-карбонатная; 3 — серая лесная почва.

Рис. 1. Кинетические кривые сорбции ионов никеля почвой

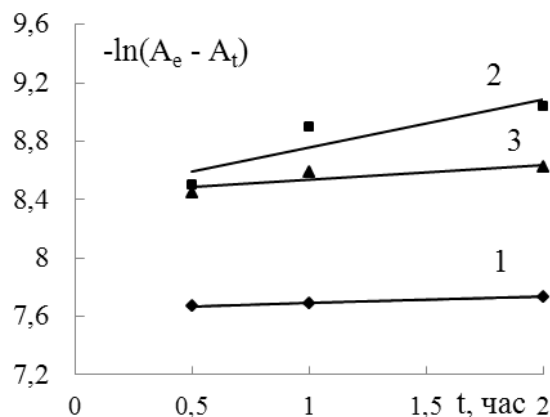


Рис. 2. Кинетические кривые внешнедиффузионных процессов ионов никеля в почве

У внешнедиффузионных процессов кинетическая кривая линейна в координатах $-\ln(A_e - A_t) - t$ [6]. Кривые сорбции ионов никеля (рис. 2) для дерново-подзолистой и дерново-карбонатной почв в течение всего времени описываются прямыми линиями, в то время как для серой лесной почвы линейность наблюдается только на начальном этапе.

Вклад внутренней диффузии в процесс сорбции в большинстве случаев [6] подчиняется мультилинейной зависимости $A_t - t^{1/2}$, состоящей из 2–3 участков, и описывается уравнением:

$$A_t = k_d \cdot t^{1/2} + A \quad (2),$$

где A_t — величина сорбции, моль/кг, во время t , k_d — константа скорости внутренней диффузии, моль·кг⁻¹·час^{-0,5}; t — время сорбции, час; A — характеризует толщину граничного слоя.

Согласно полученным данным (табл. 1), константы скорости внутренней диффузии никеля в дерново-подзолистой и серой лесной почвах имеют близкие значения, а в дерново-карбонатной почве — на порядок меньше. Толщина граничного слоя максимальна у дерново-подзолистой почвы, минимальна — у серой лесной почвы, дерново-карбонатная почва имеет среднее значение.

Таблица 1

Диффузионные параметры сорбции ионов никеля почвами Удмуртии

Тип почвы	$k_d \cdot 10^6$, моль·кг ⁻¹ ·час ^{-0,5}	A	R
Дерново-сильноподзолистая слабосмытая	4,70	0,00658	0,99
Дерново-карбонатная выщелоченная слабосмытая	0,70	0,00634	0,98
Серая лесная оподзоленная	4,90	0,00626	0,99

При химическом взаимодействии почвенного поглощающего комплекса (ППК) с ионами никеля вклад в кинетику может вносить стадия собственно химической реакции между сорбируемым ионом металла и функциональными группами сорбента, поэтому для определения вклада химической стадии

были использованы модели псевдо-первого и псевдо-второго порядка [6]. Линейные формы этих моделей представлены уравнениями (4) и (5) соответственно:

$$\ln(A_e - A_t) = \ln A_e - k_1 t \quad (3),$$

$$\frac{t}{A_t} = \frac{1}{k_2 A_e^2} + \frac{1}{A_e} t \quad (4),$$

где A_e и A_t – количество сорбированного иона никеля на единицу массы почвы в состоянии равновесия и в момент времени t ; k_1 – константа скорости сорбции в модели псевдо-первого порядка; k_2 – константа скорости сорбции в модели псевдо-второго порядка.

Зависимость $\ln(A_e - A_t) - t$ (3) является прямой линией, позволяющей определить параметры k_1 и A_e , которые представлены в таблице 2. Несмотря на достаточно высокие коэффициенты корреляции R дерново-подзолистой и серой лесной почв значения A_e , полученные экспериментальным путем и вычисленные из уравнения (3), не совпадают. В исследуемых условиях не получается описать и кинетику сорбции никеля дерново-карбонатной почвой из-за низкой величины аппроксимации.

Параметры уравнения псевдо-второго порядка k_2 и A_e (табл. 2) были определены из зависимости $t/A_t - t$ (4). При сравнении значения параметров моделей псевдо-первого и псевдо-второго порядков при определении механизмов сорбции ионов никеля почвами Удмуртии (табл. 2) видно, что в изученных условиях уравнение псевдо-второго порядка описывает экспериментальные данные с высокими значениями коэффициента корреляции R для всех исследуемых типов почв. Кроме того, рассчитанные по уравнению (4) величины сорбированного иона никеля на единицу массы почвы в состоянии равновесия A_e дают удовлетворительное совпадение с экспериментальными значениями. Вычисленные величины константы скорости в модели псевдо-второго порядка весьма незначительны, что свидетельствует о контроле химической реакцией процесса сорбции металла почвой.

Таблица 2

Кинетические параметры сорбции ионов никеля почвами Удмуртии

A_e , экспер моль·кг ⁻¹	Псевдо-первый порядок			Псевдо-второй порядок		
	$k_1 \cdot 10^{-3}$ моль·кг ⁻¹ ·час ⁻¹	A_e моль·кг ⁻¹	R	$k_2 \cdot 10^{-6}$, моль·кг ⁻¹ ·час ⁻¹	A_e , моль·кг ⁻¹	R
Дерново-сильноподзолистая слабосмытая						
0,00697	0,67	0,00425	0,907	0,68	0,00669	0,99
Дерново-карбонатная выщелоченная слабосмытая						
0,00645	0,69	0,00128	0,221	2,97	0,00636	0,99
Серая лесная оподзоленная						
0,00635	3,33	0,00070	0,897	1,74	0,00634	0,99

Таким образом, лимитирующей стадией процесса является химическая реакция ионного обмена. Исходя из [7, 8], можно предположить, что реакция

между ионами никеля и функциональными группами сорбента относится к реакции второго порядка, и они взаимодействуют в соотношении 1: 1.

Библиографический список

1. Аристархов А. Н., Харитонова А. Ф. Состояние и методология прогноза загрязнения почв тяжелыми металлами // Плодородие. 2002. № 3. С. 22–24.
2. Он-лайн расчет линейной регрессии методом наименьших квадратов [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.chem-astu.ru/science/lsg/> (дата обращения: 29.04.2021).
3. Сорбция свинца аллювиальной почвой Западного Забайкалья (Республика Бурятия) / С. Б. Сосорова, Э. Г. Цыремпилов, Л. Н. Болонева, И. Н. Лаврентьева, В. Л. Убугунов // Известия ТСХА. 2019. Вып. 6. С. 5–22. doi: 10.34677/0021-342x-2019-6-5-22
4. Фенелонов В. Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новосибирск : СО РАН, 2004. 442 с.
5. Жукова Л. А., Гуламова Н. В., Глебова И. В. Основные закономерности кинетики сорбции ионов циркония серыми лесными почвами Центрального Черноземья // Известия ТСХА. 2008. Вып. 2. С. 25–31.
6. Алосманов Р. М. Исследование кинетики сорбции ионов свинца и цинка фосфорсодержащим катионитом // Вестник Московского Университета. Сер. 2. Химия. 2011. Т. 52, № 2. С. 145–148.
7. Кинетика сорбции ионов тяжелых металлов пиридилэтилированным аминопропилполисилоксаном / Л. К. Неудачина, Ю. С. Петрова, А. С. Засухин, В. А. Осипова, Е. М. Горбунова, Т. Ю. Ларина // Аналитика и контроль. 2011. Т. 15, № 1. С. 87–95.
8. Ho Y. S., Ng J. C. Y., McKay G. Kinetics of pollutant sorption by biosorbents: review // Separation and Purification Methods. 2000. Vol. 29. P. 189–232.

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИЙ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

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

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

² *Московский государственный областной университет,*

DBPetrenko@ya.ru

Выполнен анализ почв промышленной и селитебной зон г. Воскресенск Московской области на содержание некоторых элементов, сопутствующих производству азотно-фосфорных минеральных удобрений. Загрязнение почвы, за исключением некоторых локальных зон, характеризуется как допустимое. Выявлено три источника поступления тяжелых металлов в окружающую среду на изученной территории: места захороненных пиритных огарков; источник, связанный с современным производством минеральных удобрений и складированием его отходов; транспортная нагрузка в селитебной и промышленной части города.

Ключевые слова: почвы, минеральные удобрения, рентгенофлуоресцентный анализ.

Воскресенск – промышленный город, расположенный на р. Москве в юго-восточной части Московской области. Основным источником загрязнения прилегающих к городу территорий является автотранспорт, предприятия: филиал ОАО «ЛАФРАЖ ЦЕМЕНТ» (Воскресенскцемент), ООО «Электрохимический завод», ОАО «Воскресенский завод «Машиностроитель», ОАО «Завод «Красный строитель», ОАО «Фетр», ОАО «Воскресенский кирпичный завод», и, в особенности, ОАО «Воскресенские минеральные удобрения» (ОАО «ВМУ») [1].

В процессе производства минеральных удобрений, обработки сырья, сброса и складирования отходов происходит неизбежное загрязнение окружающей среды сопутствующими производству поллютантами. Особое значение имеют металлы – барий, медь, свинец, цинк и т.д.

Барий и стронций содержатся во фторапатитовом сырье в больших количествах. Хром, медь и цинк содержатся в пиритном концентрате, который использовался при производстве серной кислоты в 1950–1960 гг. Автомобильный и железнодорожный транспорт (в виде газовых выбросов и следов истирания шин и других элементов) является источником загрязнения окружающей среды свинцом и цинком [2].

Цель настоящей работы состояла в оценке содержания тяжелых металлов в почвах, находящихся в зоне воздействия автотранспорта, промышленных предприятий г. Воскресенска.

Отбор проб проводился в августе 2020 г. Пробы материала, массой не менее 500 г, отбирали с глубины 0–5 см, и упаковывали в герметичные полиэтиленовые пакеты. Всего было отобрано 20 образцов почв в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [3]. Схема отбора проб представлена на рисунке 1.

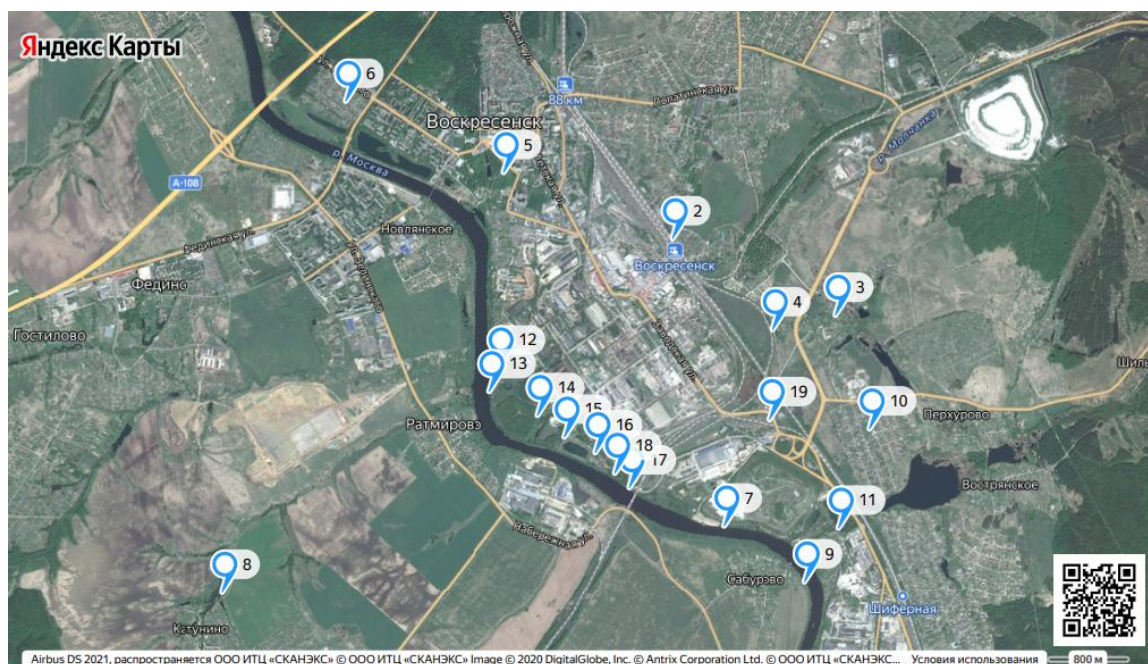


Рис. 1. Карта отбора проб почв

Предварительно высушенные на воздухе до воздушно-сухого состояния почвы измельчали и пропускали через сита с размером ячеек 1 мм и 0,4 мм, инородные тела и органические включения убирали вручную. Затем образцы выдерживали в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы. Далее образцы растирали до размера 200 меш (состояния пудры) и использовали для определения макроэлементного и микроэлементного состава. Анализ химического состава проб выполняли методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на последовательном волнодисперсионном спектрометре S4 PIONEER (Bruker, Германия) [4]. Достоверность определения контролировали методом внутреннего и внешнего контроля с анализом стандартных образцов состава почвы СПДС-1 (ГСО 2498-83) СЧТ-1 (ГСО 2507-83) и ССК-2 (ГСО 2505-83). Обработку материала проводили общепринятыми методами в программе Microsoft Excel 2016.

В таблице 1 представлены результаты определения содержания тяжелых металлов в исследованных пробах.

Таблица 1

Валовое содержание металлов в исследованных почвах, мг/кг

Номер образца	Элемент						
	Ba	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn
1	716	59	12	22	11	84	33
2	873	140	50	72	64	160	110
3	611	51	12	16	16	118	59
4	937	63	29	17	28	127	59
5	824	84	32	29	32	140	88
6	471	88	16	30	22	86	67
7	1070	61	73	16	18	80	66
8	933	108	21	31	19	132	56
9	964	139	89	49	77	166	286
10	891	106	25	15	42	102	77
11	364	83	55	53	32	267	99
12	622	52	21	14	17	78	36
13	1036	95	44	29	35	181	130
14	1507	89	82	35	59	271	140
15	363	85	39	45	19	200	97
16	906	62	162	36	77	284	152
17	924	43	89	23	38	3252	75
18	2363	<5,0	669	20	259	409	905
19	1221	52	74	18	58	320	114
20	825	71	14	23	16	112	36
Среднее значение, мг/кг	921	81	80	30	47	328	134
Max значение, мг/кг	2363	140	669	72	259	3252	905
Min значение, мг/кг	363	43	12	14	11	78	33
ПДК в почвах, мг/кг [5]	—	—	—	—	32	—	—
ОДК в почвах, мг/кг [6]	—	—	132	80	130	—	220
Среднее содержание в почвах мира, мг/кг [7]	460	59,5	38,9	29	27	175	70

Содержания Ba, Cr, Cu, Pb, Sr, Zn были превышены относительно фоновых значений в 90, 65, 5, 45, 40 и 10% отобранных проб почв соответственно, концентрация Ni не превышала значения ОДК ни в одной из проб. Для оценки загрязнения был посчитан суммарный коэффициент загрязнения почв (Z_c) для каждого образца [8].

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1),$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го химического элемента, n – число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Коэффициент концентрации рассчитывался по формуле:

$$K_c = C_i / C_{\text{фон}},$$

где C_i – фактическое содержание элемента; $C_{\text{фон}}$ – фоновое содержание элемента.

Коэффициент суммарной концентрации не превышает значений, соответствующих категории загрязнения «допустимая» для 18 образцов почв, 2 образца почв (№ 17 и № 18) являются аномальными по содержанию Sr и Cu, их показатель Z_c находится в пределах значений, соответствующих категории загрязнения «опасная».

Корреляционный анализ (табл. 2) выявил связь между концентрациями Ba, Cu, Pb и Zn, что свидетельствует о едином источнике поступления металлов в окружающую среду.

Таблица 2

**Корреляционная зависимость между концентрациями элементов
в пробах почв**

	Ba	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn
Ba	1,00						
Cr	0,07	1,00					
Cu	0,97	-0,03	1,00				
Ni	-0,16	0,70	-0,08	1,00			
Pb	0,93	0,43	0,97	0,05	1,00		
Sr	0,03	-0,32	0,11	-0,08	0,06	1,00	
Zn	0,96	0,55	0,97	0,01	0,98	0,02	1,00

Полученные данные позволяют выявить три источника поступления тяжелых металлов в окружающую среду в зоне воздействия предприятия:

1) локальная зона накопления тяжелых металлов, обусловленная наличием участков выщелачивания захороненных пиритных огарков, отходов производства серной кислоты;

2) источник поступления связан с современным производством минеральных удобрений и складированием многотоннажного отхода фосфогипса, содержащего повышенные концентрации Sr;

3) источник по данным корреляционной зависимости между концентрациями элементов можно отнести к транспортной нагрузке в жилотной и промышленной части города.

Загрязнение почвы, за исключением некоторых локальных источников, характеризуется как допустимое.

Библиографический список

1. Экологический паспорт Воскресенского района [Электронный ресурс]. – URL: http://ecopassmo.mosreg.ru/media/region_doc/voskresenskiy_rayon_1.pdf. (дата обращения: 05.10.2022).
2. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. СПб. : Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. 142 с.
3. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
4. ГОСТ 33850-2016. Определение химического состава методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. М. : Стандартинформ, 2019. 10 с.
5. СанПиН 42-128-4433-87 Санитарные нормы допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в почве. М. : МП «Рарог», 1992.
6. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М. : Минздрав России, 2009. 3 с.
7. Kabata-Pendias A., Pendias H. Biogeochemistry of Trace Elements. 2nd ed. Warsaw, 2011. P. 41–42.
8. СанПиН 2.1.7.1287-03 Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. М. : Минздрав России, 2003. 10 с.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ МИКРОПЛАСТИКОМ. МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО СВОЙСТВ МИКРОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

К. В. Ручкина, О. Э. Мерзляков

*НИ Томский государственный университет,
Ruchkinakristina99@mail.ru*

Представлены результаты морфологического определения микропластика (МП) с помощью стереомикроскопа. Обнаруженные частицы представлены тремя формами: пленками, волокнами и фрагментами. Окраска обнаруженного микропластика преимущественно белая и прозрачная. Также обнаружены синие и красные единичные экземпляры. Содержание микропластика в разных образцах агропочв неодинаково.

Ключевые слова: микропластик, загрязнение почв, стереомикроскоп.

Впервые загрязнение микропластиком было выявлено в морских экосистемах. Первый научный отчет по исследованию МП был опубликован в начале 1970-х годов, после обнаружения пластиковых гранул и фрагментов на поверхности Саргассова моря [1].

В последние годы внимание к загрязнению окружающей среды микропластиком постепенно переключилось с морской среды на наземную [2, 3]. Примерно 80% пластиковых отходов в морской среде поступает именно с суши [4, 5].

Поступление пластика в почву, безусловно, связано с хозяйственной деятельностью человека. Основными источниками являются: компосты, включающие бытовые отходы, осадки сточных вод, использование пластиковой мульчи в сельском хозяйстве, ирригация загрязненной пластиком водой, стихийные свалки бытовых отходов в местах отдыха и вдоль дорог, деградация дорожного покрытия.

В работах зарубежных исследователей показано влияние МП на свойства почв [3–9]. Присутствие микропластика может пагубно сказываться на физических, химических и микробиологических свойствах. Частицы МП могут встраиваться в почвенные агрегаты, снижать насыпную плотность почв, тем самым влияя на передвижение газа, воды, и деятельность микроорганизмов. Отдельную опасность представляет возможность микропластика служить средой обитания для патогенных грибов. В связи с этим большую проблему представляет его способность изменять адсорбционно-десорбционное поведение и доступность питательных или загрязняющих веществ, тем самым изменяя плодородие почвы и токсичность вредных веществ.

Исследования микропластика в почвах все еще редки, и существующие публикации часто несравнимы из-за использования различных методов отбора проб, обработки и анализа. Учитывая сложную природу почв, до сих пор не найден подходящий и эффективный метод стандартизированного анализа микропластика в почвах.

В данной работе предлагается микроскопический метод выделения МП путем ручной сортировки частиц, наиболее подходящий для обнаружения фракций микропластика размером 1–5 мм.

Объектом исследования являлись агрочерноземы Республики Хакасия, а именно, агрочернозем южный, типичный и обыкновенный.

Для выполнения анализа был использован составной отбор проб, в ходе которого образцы из пяти точек отбора объединялись в единую пробу. Их количество на участок зависит от пространственной неоднородности исследуемой территории. Отбор проводился с глубины 0–10 см в пределах пахотного слоя.

Следующим этапом являлось высушивание почвы на открытом воздухе. Можно использовать сушильный шкаф, но не рекомендуется проводить высушивание при температуре выше 40 °С, так как большая температура может отрицательно повлиять на физические и структурные свойства микропластика путем плавления или разложения [10].

Далее осуществлялось просеивание почвы через сито с диаметром ячеек 5 мм.

Данный анализ удобен для крупных пластиковых частиц (в основном >500 мкм) и выполняется путем ручного отбора под стереомикроскопом. Эта процедура позволяет определять количество частиц, размеры и формы при низких затратах. Степень подготовки образца может быть скорректирована в зависимости от сложности почвенной матрицы.

При визуальном исследовании частицы микропластика обычно определяются по таким характеристикам, как яркость, блеск, окраска, структура, форма или твердость, определяемая с помощью пинцета.

Частицы под микроскопом могут быть визуальным отделены в соответствии со следующими критериями [11]:

1. В пластиковых частицах волокнах не видно клеточных или органических структур;

2. Если частица представляет собой волокно, она должна быть одинаковой толщины, не сужаться к концам и иметь трехмерный изгиб (не совсем прямые волокна, что указывает на биологическое происхождение);

3. Прозрачные и однородно окрашенные частицы (синий, красный, черный и желтый).

Визуальное определение в настоящей работе проводилось путем разбиения средней почвенной пробы массой 50 г по 35 равным квадратам, площадью 16 см². Таким образом общая площадь исследуемой поверхности составила 560 см². Далее производилось выделение частиц микропластика путем ручной сортировки и расчет количества частиц, приходящихся на 1 см². Также была определена форма каждой частицы, ее размер и окраска.

Извлечение пластика из почвы зависит от «чистоты» образца и знания исследователем визуальных характеристик частиц. Некоторые природные материалы при анализе проб могут быть ошибочно определены как пластик. Таким материалом могут являться сосновые иголки, остатки травы, кристаллы соли и т. д.

Для идентификации этих включений необходимо применить механическое воздействие – сдавливание. Если при надавливании они распадаются на частицы или рассыпаются, то можно однозначно утверждать, что это не микропластик. Сохранение ими исходной формы говорит об обратном. Визуальная сортировка для идентификации микропластика в почвах может приводить к ошибкам 20–70% [11]. Но ни один метод не позволяет обнаружить все полимеры, поэтому разумно применять совокупность методов. В связи с этим исследуемый метод должен быть дополнен спектроскопическими методами, такими как FTIR с ослабленным полным отражением (ATR) [12].

В ходе нашего исследования были обнаружены три основные формы микропластика: пленки, волокна и фрагменты. Морфология частиц не отличается большим разнообразием. Преобладают фрагменты, пленки и волокна различного размера (от 1 до 5 мм)

Микропластик имеет разнообразную окраску, но преобладающими являются прозрачные (28%) и белые частицы (61%). Также зафиксированы единичные экземпляры синей (8%) и красной окраски (3%) (табл.).

Морфологические характеристики микропластика

Название агропочв	Морфологические характеристики			Количество частиц в образце, шт.	S поверхности с частицами МП, см ²	Количество частиц на 1 см ²
	размер, мм	окраска	форма			
1	2	3	4	5	6	7
Агрочернозем южный	1,5	прозрачный	пленка	5	80	0,062
	3,2	белый	пленка			
	3	белый	волокно			
	2	белый	волокно			
	3	белый	пленка			
Агрочернозем южный	2	белый	пленка	6	96	0,062
	3,5	синий	фрагмент			
	1,5	белый	волокно			
	3	прозрачный	пленка			
	2,5	прозрачный	пленка			
	3	белый	фрагмент			
Агрочернозем южный	1,2	белый	фрагмент	3	48	0,062
	3	белый	пленка			
	2,5	белый	фрагмент			
Агрочернозем южный	1,5	прозрачный	фрагмент	5	64	0,078
	2	белый	пленка			
	3	белый	фрагмент			
	3,5	прозрачный	фрагмент			
	2	белый	фрагмент			
Агрочернозем обыкновенный	2	белый	фрагмент	4	64	0,062
	3,5	белый	фрагмент			
	1	прозрачный	пленка			
	3	белый	волокно			
Агрочернозем типичный	2	белый	фрагмент	6	96	0,062
	4	прозрачный	пленка			
	3	синий	фрагмент			
	3	белый	фрагмент			

1	2	3	4	5	6	7
Агрочер- нозем типичный	1,5	белый	фраг- мент	6	96	0,062
	3	прозрачный	фраг- мент			
Агрочер- нозем типичный	1	белый	пленка	7	96	0,073
	5	белый	пленка			
	2	прозрачный	пленка			
	1,5	белый	волокно			
	3	красный	волокно			
	1,5	прозрачный	пленка			
	5	синий	фраг- мент			
Итого:	—	—	—	36	560	0,463

Содержание микропластика в разных образцах неодинаково.

Это связано со способностью частиц микропластика закрепляться в почве в зависимости от ее гранулометрического состава и географического расположения образцов относительно автодорог, крупных населенных пунктов и промышленных предприятий.

Для того, чтобы глубже погрузиться в изучение данной проблемы, необходима дальнейшая разработка стандартизированных научных методов обнаружения, идентификации и определения количества микропластика в почвах. Использование дополнительных и унифицированных методов позволит оценить масштаб загрязнения, токсическое воздействие микропластика на почву как среду обитания флоры и фауны, а также разработать методы борьбы с микропластиковым загрязнением.

Библиографический список

1. Carpenter E. J., Smith K. L. Plastics on the Sargasso Sea surface // Science. 1972. Vol. 175. P. 1240–1241.
2. Impacts of microplastics on the soil biophysical environment / A. A. de Souza Machado, C. W. Lau, J. Till, W. Kloas, A. Lehmann, R. Becker, M. C. Rillig // Environ. Sci. Technol. 2018. Vol. 52. No. 17. P. 9656–9665.
3. Rilling M. C., Lehmann A. Microplastic in terrestrial ecosystems // Science. 2020. Vol. 38. P. 1430–1431.
4. Andrady A. L. Microplastics in the marine environment // Marine Pollution Bulletin. 2011. No. 62. P. 1596–1605.
5. Plastic waste inputs from land into the ocean / J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K. Lavender Law // Science. 2015. Vol. 347. P. 768–771.
6. Microplastics can change soil properties and affect plant performance / A. A. de Souza Machado, C. W. Lau, W. Kloas, J. Bergmann, J. B. Bachelier, E. Faltin, R. Becker, A. S. Görlich, M. C. Rillig // Environmental science & technology. 2019. P. 604–605.
7. Sorption Properties of Tylosin on Four Different Microplastics / X. Guo, J. Pang, S. Chen, H. Jia // Chemosphere 2018. Vol. 209. P. 240–245.

8. Microplastic shape, polymer type and concentration affect soil properties and plant biomass / Y. M. Lozano, T. Lehnert, L. T. Linck, A. Lehmann, M. C. Rillig // *Frontiers in Plant Science*. 2021.
9. Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil / Y. Wan, C. Wu, C. Q. Xue, X. Hui // *Science of The Total Environment*. 2019. P. 576–582.
10. Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland / S. Piehl, A. Leibner, M. G. J. Löder, R. Dris, C. Bogner, C. Laforsch // *Sci. Rep.* 2018. Vol. 8. P. 1–9.
11. Noren F. Small plastic particles in Coastal Swedish waters // *KIMO report*. 2007. P. 11.
12. Bläsing M., Amelung W. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources // *Sci. Total Environ.* 2018. Vol. 612. P. 422–435.
13. Microplastics in soils: Analytical methods pollution characteristics and ecological risks / D. He, Y. Luo, S. Lu, M. Liu, Y. Song, L. Lei // *TrAC Trends Anal. Chem.* 2018. Vol. 109. P. 163–172.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ МЕХАНИЧЕСКОЙ И РЕАГЕНТНОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИЕМ-226 ТАЕЖНЫХ ПОЧВ

Н. Г. Рачкова, Л. М. Шапошникова
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, rashkova@ib.komisc.ru

Изучена перспектива применения сепарации механических фракций (размер частиц 0,25–1 мм, 0,1–0,25 мм, меньше 0,1 мм), а также использования реагентных методов (экстрагирование последовательно: водой; 1 моль/л ацетата аммония; 1 моль/л ацетата аммония (pH 5); 30 % раствором пероксида водорода; 0,1 моль/л гидрохлорида гидроксиламина в 25% уксусной кислоте; 0,2 моль/л гидроксида натрия) для дезактивации загрязненных радием-226 аллювиальных и подзолистых почв Республики Коми. Сделано заключение о возможности эффективного снижения содержания радионуклида в почвах путем отделения частиц меньше 0,1 мм.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, почва, радий-226, дезактивация, механические фракции, реагентные методы.

Актуальность работы вызвана необходимостью защиты окружающей среды от радиоактивных загрязнений. Исследование проводили в условиях лабораторного эксперимента на примере 15 образцов, отобранных из слоя 0–40 см подзолистых и аллювиальных почв на 4 локальных участках в Республике Коми, загрязненных вследствие добычи радия из подземных вод (рис. 1). Радий-226 является основным загрязнителем грунтов на этих локализациях, характеризующихся радиационным фоном до 1100 мкР/ч.

Для механического фракционирования почву последовательно просеивали через сита 1, 0,25 и 0,1 мм. Фракции 0,25–1 мм, 0,1–0,25 мм и < 0,1 мм взвешивали, рассчитывали их массовую долю в почве.

Эффективность реагентной дезактивации изучали на примере нефракционированных по механическому составу образцов 1–4 путем экстрагирования радионуклида последовательно дистиллированной водой, 1 моль/л ацетата аммония, 1 моль/л ацетата аммония (рН 5), далее – при нагревании с 0,1 моль/л гидрохлорида гидроксиламина в 25% уксусной кислоте, с 30% раствором пероксида водорода (рН 2), с раствором гидроксида натрия концентрацией 0,2 моль/л. Этим экстрактам соответствовали формы нахождения радионуклида в почве: водорастворимая, обменная, связанная с карбонатами, с полуторными оксидами и гидроксидами, с органическим веществом, с аморфными силикатами. Соотношение массы почвы и объема экстрагента – 1:10, время контакта – 24 ч, за исключением экстракции дистиллированной водой (1 ч). Остаточное содержание радия после окончания химической обработки рассматривали как нерастворимую форму нахождения радионуклида в почве. Рассчитывали долю (%) форм нахождения от валовой удельной активности (УА) радия-226. Его содержание измеряли гамма-спектрометрически [1].

УА радия-226 в почвенных образцах достигала 120 Бк/г (рис. 1), что примерно в десять тысяч раз больше фоновых показателей для почв Республики Коми (9–13 мБк/г). Суммарная доля радия, экстрагируемая нейтральными и слабокислыми реагентами (формы нахождения: водорастворимая, обменная, связанная с карбонатами), составила от 23 до 67 % от его валовой УА в почве, что свидетельствует о возможности ее частичной дезактивации методами, не оказывающими существенное влияние на почвенное плодородие. Однако все эти формы нахождения характеризовались существенной вариабельностью содержания радия, что можно объяснить функциональной связью форм нахождения радия и других щелочноземельных элементов, являющихся не только активными участниками, но и маркерами почвообразовательных процессов [2–4]. При этом доля водорастворимого радия-226 во всех образцах была минимальна (от 0,1 до 0,7%). Содержание же обменного радия при значениях, многократно превосходящих последние, даже для почв с близкими уровнями радиоактивного загрязнения существенно отличалось (20,6 и 41,4% от валовой УА радионуклида для образцов 1 и 2 соответственно).

Форма радия, связанная с полуторными оксидами и гидроксидами, экстрагируемая сильнокислыми растворами гидрохлорида гидроксиламина, также вносила существенный вклад в суммарный показатель геохимической подвижности радия-226. Доля этой формы в разных образцах составила 5,3–20,5% от валового содержания радионуклида (табл.).

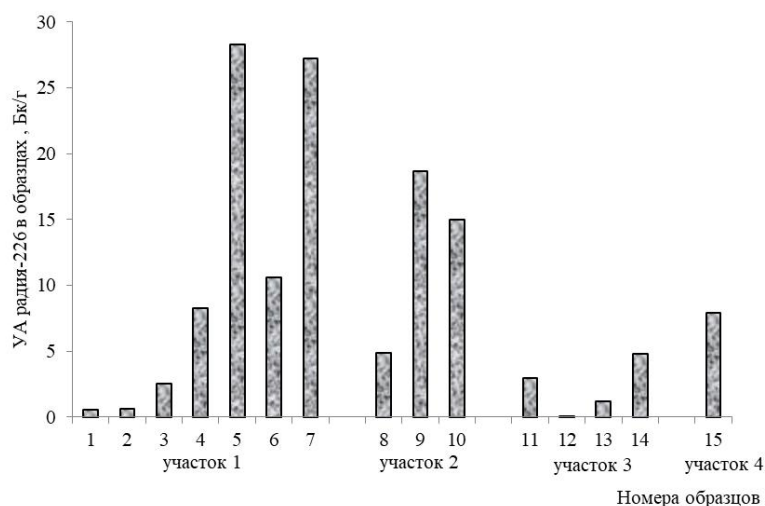


Рис. 1. Валовая УА радия-226 в образцах почвы с разных радиоактивно загрязненных участков (локализаций), Бк/г почвы

Таблица

Доля радионуклида в экстрактах, % от его валовой УА в загрязненной аллювиально-дерновой почве

№ образца	Доля радионуклида в экстрактах, % от его валовой УА в почве						
	водораст-воримая	обмен-ная	связанная с				нераст-вори-мая
			карбона-тами	полуторными оксидами и гидроксидами	органи-ческим веществ-вом	аморфны-ми силиката-ми	
1	0,7	41,4	25,6	20,5	3,6	0,4	7,8
2	0,5	20,6	26,6	15,8	5,6	1,3	29,6
3	0,1	14,4	9,0	20,0	6,0	0,3	50,2
4	н/о *	5,3	18,5	5,3	1,4	0,1	69,4

Примечание: *н/о – не обнаружено.

Анализ распределения радия-226 по формам нахождения свидетельствовал, что, как минимум, треть его содержания (32,3–76,5%) трудно экстрагируема и неэкстрагируема из исследованных грунтов. При таком условии для снижения их радиоактивности рациональнее было бы отделить от почвенной массы механические фракции с высокой УА радия-226.

В результате проведенных исследований было выявлено, что во всех исследованных почвах (11 образцов подзола иллювиально-железистого и аллювиально-дерновой почвы из разных локализаций загрязнения с содержанием радия-226 от 0,09 до 28,3 Бк/г) максимальная УА радия-226 была характерна для механической фракции почвы < 0,1 мм (рис. 2), что может быть связано с большой удельной площадью поверхности и специфичным составом частиц этой фракции, зачастую включающих минералы, способные к межпакетной сорбции катионов. В образце 10 (участок 2) УА радионуклида в этой механической фракции аллювиально-дерновой почвы достигала максимального значения (64 Бк/г), которое превышало содержание радионуклида

во фракции 0,25–1 мм в 16 раз. Данная локализация радиоактивного загрязнения (образцы 8–10) характеризовалась наибольшей среди других участков средней УА радия-226 во фракции <0,1 мм (48 Бк/г). В некоторых случаях (образец 8) УА радия-226 в ней до 7 раз превышала валовую УА радионуклида в почве в целом. Крупнодисперсная (0,25–1 мм) фракция исследованных почв в основном имела самое низкое содержание радионуклида. Аналогично радий-226 был распределен в почвах других локализаций, за исключением проб 5, 6 и 8, в которых его УА во фракции 0,25–1 мм незначительно превышала таковую в сегменте 0,1–0,25 мм.

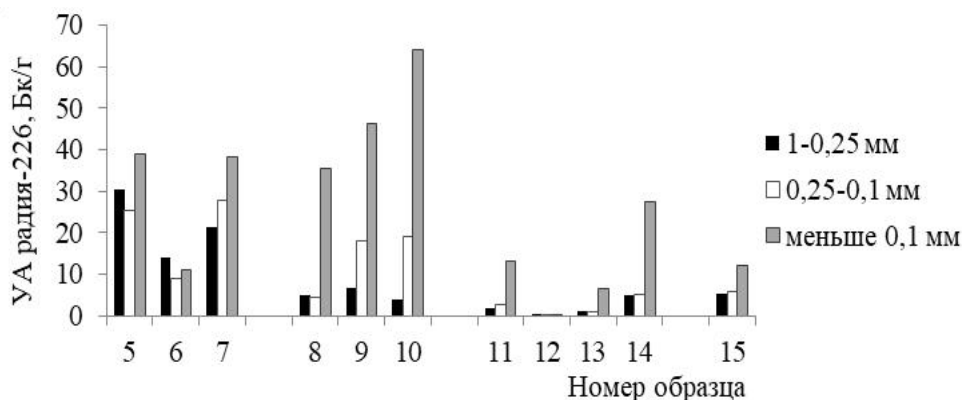


Рис. 2. УА радия-226 в механических фракциях почв, Бк/г

С учетом доли в почвенной массе, в составе частиц размером < 0,1 мм оказывалось от 8,6 до 62,1% активности радионуклида (рис. 3). При этом содержание радия-226 сильно отличалось как для проб с разных локализаций, так и для образцов с одной производственной площадки. То же самое было свойственно фракции 0,25–1 мм, доля которой в радиоактивности образцов составила 18,4–69,2%. По сравнению с этим, вклад частиц среднего размера (0,1–0,25 мм) в УА радия-226 варьировал слабо (18–27%).

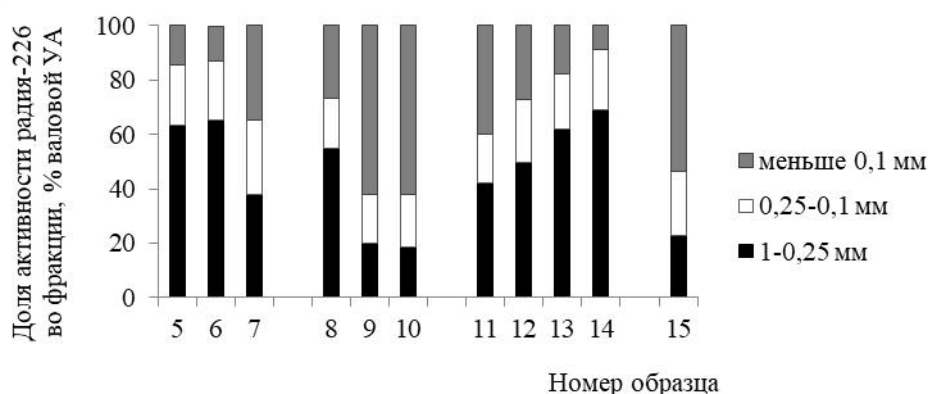


Рис. 3. Вклад механических фракций почвы в валовую УА радия-226 (с учетом их доли в почвенной массе), %

В любом случае доля УА радия-226 во фракции < 0,1 мм во всех исследованных образцах была значительна. В среднем в образцах двух локализаций (участки 1 и 3) она была более 20 % активности радия-226 (20,8 и 23,4%

соответственно), а в пробах двух других производственных площадок (участки 2 и 4) – свыше 50% активности радионуклида (50,2 и 53,5%). В отношении образцов 9, 10 и 15 за счет сепарации фракции почвы $< 0,1$ мм возможно снижение содержания радия на 53,5–62,1%.

Таким образом, оценка перспектив дезактивации от радия-226 некоторых радиоактивно загрязненных территорий Республики Коми с аллювиальными и подзолистыми почвами выявила, что в их верхнем слое (0–40 см) радионуклид преимущественно зафиксирован в почвенном поглощающем комплексе и, вследствие этого, геохимически мало подвижен. В этих условиях значительный уровень дезактивации почвы может быть достигнут лишь в результате её химической обработки сильноокислыми реагентами. В то же время в соответствии с полученными данными можно прогнозировать эффективное извлечение радия из загрязненных грунтов реагентами с нейтральной и слабобокислой реакцией, сохраняющими почвенное плодородие. Результативность таких способов ремедиации для разных образцов составила от 23 до 67% от валовой УА радия-226. Наряду с реагентными методами для уменьшения уровня радиоактивности исследованных почв может быть рекомендовано отделение почвенной механической фракции с размерами частиц $< 0,1$ мм, которая среди прочих исследованных фракций (0,25–1 мм и 0,1–0,25 мм) характеризуется максимальной УА радия-226. Относительное содержание радионуклида в ней до 16 раз превышало таковое в крупнодисперсной части почвы (0,25–1 мм). По сравнению с почвенной пробой, не фракционированной по размеру частиц, кратность концентрирования радия-226 во фракции почвы $< 0,1$ мм достигала 7 раз. В образцах двух локализаций фракция содержала в среднем свыше 20%, а в пробах двух других производственных площадок – 50% от валовой УА радионуклида в почвах.

Исследования выполнены в рамках Госзадания Института биологии Коми НЦ УрО РАН № 122040600024-5 с частичной поддержкой гранта РФФИ и Правительства Республики Коми № 20-45-110009 p_a.

Библиографический список

1. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». Свидетельство об аттестации МВИ № 40090.3Н700 от 22.12.2003 г.
2. Шутов В. Н. Ионный обмен и миграция щелочноземельных элементов в системе почва-растение : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.03. Л., 1982. 24 с.
3. Шапошникова Л.М. Фитопоглощение радия-226 из техногенно загрязнённых почв на примере *Chamaenerion angustifolium*, *Lathyrus pratensis* и *L. vernus* // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4. С. 53–60. doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-053-060
4. Рачкова Н. Г., Шапошникова Л. М. Моделирование подвижности радия-226 по данным его профильного распределения в загрязненной подзолистой почве // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 69–74. doi: 10.17513/use.37700

ВОЗДЕЙСТВИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЗАМАЗУЧЕННЫХ ГРУНТОВ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

А. С. Рудых¹, А. В. Богданов²

¹ *Иркутский национальный исследовательский технический университет,*

² *Институт Недропользования, 19alex92@bk.ru*

В статье описывается влияние работы установки УЗГ-1М на окружающую среду на территории нефтегазоконденсатного месторождения в Республике Саха (Якутия). Представлены расчёты выбросов и рассеивания загрязняющих веществ, образующихся при сжигании нефтесодержащих отходов.

Ключевые слова: окружающая среда, нефтепродукты, выбросы, нефтезагрязнённые грунты, термическое обезвреживание.

Экологическая проблема остается одной из главных проблем нефтегазовой отрасли. Попадание нефтепродуктов в почвы происходит со стоками, грунтовыми водами, из разломов и трещин земной коры. Естественное самоочищение природных объектов от нефтяного загрязнения – длительный процесс, особенно в условиях продолжительного периода с низкими температурами [1].

Цель работы – экологическая оценка метода очистки почв и грунтов, загрязнённых нефтепродуктами, на дочернем предприятии ПАО НК Роснефть – ООО «Таас-ЮряхНефтегазодобыча».

Предприятие расположено на территории республики Саха (Якутия) в условиях сурового климата, поэтому применение биологических методов очистки загрязнённых почв неэффективно. В связи с этим применяется метод термического обезвреживания загрязнённых грунтов с помощью установки для переработки и утилизации замазученных грунтов (УЗГ-1М).

Установка предназначена для утилизации и переработки бурового шлама, зачистки шламовых амбаров, жиров различного происхождения и многих других отходов, не поддающихся утилизации методами отмыва, биообработки, а также в тех случаях, когда другие методы экономически менее выгодны [2]. Установка представлена на рисунке 1.

Установка обеспечивает утилизацию сильнозагрязнённых грунтов со степенью загрязнения от 3 до 16%. Переработка отходов происходит при температуре до 800–900 °С, оптимальный режим 600–700 °С. На выходе получается технический грунт – экологически безопасный материал, который можно применять для нужд предприятия [3].



Рис. 1. Установка для переработки и утилизации замазученных грунтов (УЗГ-1М)

Установка располагается исключительно на территории площадки, поскольку размещение ее в границах водоохранных зон, прибрежных защитных полос, зон I–III пояса зоны санитарной охраны источников водоснабжения, на заболачиваемых и подтопляемых территориях, в границах особо охраняемых природных территорий, в пределах мест расположения редких и охраняемых видов растений и животных, на пути миграции животных, в котлованах, на территориях объектов с нормируемыми показателями качества среды запрещено. Прямое воздействие установки УЗГ-1М на поверхностные и подземные воды исключено [4].

Основными источниками воздействия на земельные ресурсы, почвенный покров и грунты являются:

- выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от установки УЗГ-1М и вспомогательного оборудования;
- грузовой автотранспорт, доставляющий нефтеотходы и ГСМ;
- отходы, образующиеся в ходе реализации утилизации нефтеотходов;
- возможное запечатывание почв различными видами покрытий с выведением почв из биологического круговорота.

При работе установки УЗГ-1М возможно косвенное воздействие на поверхностные воды:

- загрязнение водных объектов веществами, содержащимися в поверхностном стоке с площадки размещения установки;
- загрязнение осадками, выпадающими на поверхность водных объектов и содержащих загрязняющие вещества от выбросов при работе установки [4].

Основным видом воздействия на окружающую среду является загрязнение атмосферного воздуха выбросами загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников загрязнения на территории размещения установки УЗГ-1М.

При работе установки при полной загрузке в атмосферный воздух выбрасываются 7 загрязняющих веществ, для которых приведены детальные расчеты (табл. 1, 2).

Расчет произведен с использованием программы «Сжигание ТБО», версия 1.1.0.4 от 22.12.2008.

Таблица 1

Результаты расчета выбросов

Код в-ва	Название вещества	Макс. Выброс (г/с)	Валовый выброс (т/год)
0301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	0,3405483	10,175582
0304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,0553391	1,653532
0316	Гидрохлорид (Водород хлористый)	0,0094475	0,282291
0330	Сера диоксид-Ангидрид сернистый	0,4277778	12,782000
0337	Углерод оксид	0,0005253	0,015695
0342	Гидрофторид	0,0196823	0,588106
2902	Взвешенные вещества	2,686	80,258

Таблица 2

Элементный состав выбросов

Компонент	%	Sp	Ap	HClp	HFp	Wp	Qp	V
Прочее	100,000	0,200	11,700	0,012	0,025	8,000	18,140	0,218692
Общая масса	100	0,200	11,700	0,012	0,025	8,000	18,140	0,218692

Примечание: Sp – элементный состав серы в рабочей массе отходов, %; Ap – элементный состав золы в рабочей массе отходов, %; HClp – содержание хлористого водорода в продуктах сгорания, г/м³; HFp – содержание фтористого водорода в продуктах сгорания, г/м³; Wp – содержание общей влаги в рабочей массе отходов, %.

$Q_{p[ТБО]} = \sum Q_{p_n} \cdot i_n = 18,14000$ – низшая теплота сгорания отходов, МДж/кг, где:

Q_{p_n} – низшая теплота сгорания отдельных компонентов, МДж/кг

i_n – доли компонентов в общей массе отходов

$V = 0,278 \cdot B \cdot ((0,1 + 1,08 \cdot \alpha) \cdot (Q_p + 6 \cdot W_p) / 1000 + 0,0124 \cdot W_p) \cdot (273 + t_r) / 273 =$
м³/с – объем сухих продуктов сгорания.

Расчет рассеивания показал, что на границе санитарно-защитной зоны в 1000 метров от установки расчетные приземные максимальные концентрации не превышают 0,1 ПДК по всем рассматриваемым веществам и группам суммации.

Воздействие на атмосферный воздух будет допустимым и не приведет к превышению санитарно-гигиенических нормативов за пределами санитарно-защитной зоны объекта.

Даже при самых неблагоприятных условиях (одновременность работы всех источников выделения загрязняющих веществ) максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ в точках максимума составляют величины менее 1 ПДК для всех веществ и групп суммаций. Так как площадки производства работ расположены на значительном удалении от ближайших населенных пунктов, создаваемые выбросами условия удовлетворяют сани-

тарно-гигиеническими нормам качества атмосферного воздуха населенных мест. Рассеивание ЗВ происходит в границах СЗЗ кустовых площадок [5].

Для снижения выброса взвешенных веществ в атмосферный воздух в комплект установки «УЗГ-1М» входит устройство обработки отходящих газов типа «Циклон» и блок орошения. Коэффициент очистки циклона на начальной стадии загрузки обезвреживаемых отходов в печь составляет 97,3 % (сухая очистка). При работе установки «УЗГ-1М» в режиме максимальной загрузки коэффициент очистки циклона составляет 88,4%.

Для очистки отходящих дымовых газов в скруббере в качестве рабочей жидкости (скрубберного раствора) используется 2–3% раствор Na_2CO_3 для кислотных грунтов из расчета максимального расхода воды на подпитку 4,3 м³/сутки воды. Таким образом, расход воды на очистку отходящих газов в скруббере при круглогодичном режиме эксплуатации (365 дней) составит 1569, 5 м³/год. Данный объем потребляемой воды является безвозвратным, так как полностью испаряется в скруббере. При эксплуатации установки не образуется производственных сточных вод. При использовании установки на площадке с централизованным водоснабжением вода на хозяйственно-бытовые нужды берется из существующей сети водопровода. При отсутствии системы централизованного водоснабжения используется привозная бутилированная вода (для мобильных установок).

Таким образом, зона воздействия установки не выходит за пределы ориентировочной санитарно-защитной зоны.

Ожидаемое воздействие на атмосферный воздух в период производства работ будет непродолжительным и минимальным.

Расчеты показали, что при строгом соблюдении природоохранного законодательства, строительных норм и правил на каждом этапе работ по обезвреживанию и утилизации нефтезагрязнённых грунтов, при неукоснительном выполнении предусмотренных проектом мероприятий воздействие установки «УЗГ-1М» на окружающую среду оценивается как допустимое.

Библиографический список

1. Экология нефтедобычи [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ecoindustry.ru/> (дата обращения: 28.06.2022).
2. ИТС 9-2015. Обезвреживание отходов термическим способом. М. : Бюро НДТ, 2015. 243 с.
3. Установка для утилизации замазученных грунтов, буровых шламов, замасленной окалины и пропантов «УЗГ-1М.1,2/8.7.12.14.16». Руководство по эксплуатации и паспорт УЗГ-1М.1,2/8.7.12.14.16.РЭ. Брянск, 2013.
4. Кофман Д. И., Востриков М. М. Термическое уничтожение и обезвреживание отходов. СПб. : НПО «Профессионал», 2013. 340 с.
5. Гриценко А. И., Аكوпова Г. С., Максимов В. М. Экология. Нефть и газ. М. : Наука, 1997. 598 с.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ НИКЕЛЯ И СВИНЦА В ПОЧВАХ ГОРОДА УХТА

Е. А. Скребенков¹, Е. Ю. Кряжева², Е. М. Лантева³

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

² Ухтинский государственный технический университет,
eremina_83@mail.ru

³ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, *lapteva@ib.komisc.ru*

Проведена оценка содержания никеля и свинца в верхнем горизонте почв разных функциональных зон города Ухта. Установлено, что почвы города характеризуются низкой буферной способностью, они относительно других городов загрязнены незначительно. Предельно допустимые, с точки зрения санитарно-гигиенической безопасности, концентрации превышены в единичных точках наблюдения, большая часть которых соответствует промышленной зоне города. По сравнению с никелем для свинца характерны: более выраженное варьирование его содержания в почвах и более высокие уровни превышений относительно ОДК и фоновых показателей.

Ключевые слова: промышленный город, городские почвы, тяжелые металлы, свинец, никель, оценка загрязнения.

Современные города – это в разной степени трансформированные человеком ландшафты, испытывающие огромное воздействие антропогенного фактора. Урбоэкосистемы характеризуются повышенным содержанием поллютантов, циркулирующих между ее компонентами. Из всего многообразия этих веществ особого внимания заслуживают тяжелые металлы (ТМ), интенсивно используемые человеком во многих отраслях хозяйственной деятельности и в разных формах активно поступающие в окружающую среду в составе различных отходов. В почвах городов происходит активная концентрация, трансформация и миграция ТМ в сопредельные среды. К числу приоритетных загрязнителей относятся свинец (Pb) и никель (Ni) – ТМ 1-го и 2-го класса опасности соответственно [1]. Важнейшими источниками их поступления в окружающую среду являются предприятия металлургического профиля, теплоэнергетика, а также места скопления отходов.

Цель данной работы заключалась в оценке содержания Pb и Ni в почвах разных функциональных зон г. Ухта.

Для реализации поставленной цели в летний период 2017–2018 гг. были отобраны образцы методом конверта из верхних горизонтов (0-10 см) почв в точках, соответствующих разным функциональным зонам города – транспортной (ТЗ), промышленной (ПЗ), рекреационной (РЗ) и селитебной (СЗ). В совокупности были опробованы 44 точки наблюдения (т.н.) в черте города. Почвы анализировали в аккредитованной экоаналитической лаборатории

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в соответствии с аттестованными методиками. Определяли валовое содержание и содержание подвижных форм Pb и Ni, а также углерода органических соединений ($C_{\text{общ.}}$) и кислотность почв (pH_{KCl}). Полученные данные сравнивали с нормативами ОДК и ПДК [1], кларками содержания в верхней части континентальной земной коры [2], кларками, установленными для городских почв [3], а также с фоновыми региональными показателями [4].

Ухта – небольшой город (с населением около 92 тысяч человек) в центральной части Республики Коми, исторически связанный с нефтяной и газовой отраслями промышленности. Почвы Ухты маломощные, сформированные из привозных грунтов преимущественно из песка и торфа, подстилаемых щебнисто-гравийным материалом. Фрагменты естественных почв, представленные преимущественно подзолами и пойменными почвами, сохранились на отдельных участках в границах рекреационной зоны города.

Как показали проведенные исследования, искусственные почвоподобные образования Ухты характеризуются преимущественно нейтральной реакцией среды и высокой вариабельностью содержания $C_{\text{общ.}}$ (0,45–14,16%), обусловленной внесением разного количества торфа. Городским аналогам природных почв свойственны более низкие значения pH_{KCl} (до 5 ед. pH) и, в целом, невысокое содержание $C_{\text{общ.}}$, за исключением лесных подстилок, в которых $C_{\text{общ.}}$ достигает 24%.

Согласно полученным данным (рис.), самые высокие концентрации Pb соответствуют почвам ПЗ, что, очевидно, связано с повышенным уровнем техногенного воздействия на этих участках городской территории. Для Ni установлен относительно повышенный уровень содержания в почвах трех зон – ТЗ, ПЗ и РЗ. Это может быть обусловлено комплексным действием факторов как природной (геохимический фон), так и антропогенной природы. Наибольшая вариация содержания Pb характерна для почв ПЗ и СЗ (коэффициент вариации $V > 100\%$), что свидетельствует о существовании локальных источников загрязнения на этих территориях. Концентрации Ni в изученных почвах более однородны и варьируют в меньшей степени ($V \leq 50\%$), что может указывать либо на существенный вклад природного фактора в общий уровень его содержания, либо связано с более равномерным уровнем загрязнения и их относительной однородностью. Исключением являются почвы РЗ, где V составляет 60%.

Сравнение полученных данных с существующими санитарно-гигиеническими нормативами [1] показало следующее. В почвах ПЗ (3 т.н.) и СЗ (1 т.н.) отмечено превышение допустимого валового содержания Pb соответственно в 3,4 и 2,8 раз. Для Ni выявлено аналогичное превышение в почвах ПЗ (2 т.н.), РЗ (2 т.н.) и ТЗ (1 т.н.) соответственно в 1,3, 1,4 и 1,5 раза. По содержанию подвижных форм Pb установлено превышение норматива ПДК для почв ПЗ (3 т.н.) – максимально в 3,3 раза. Превышений по содержанию подвижных форм Ni не выявлено.

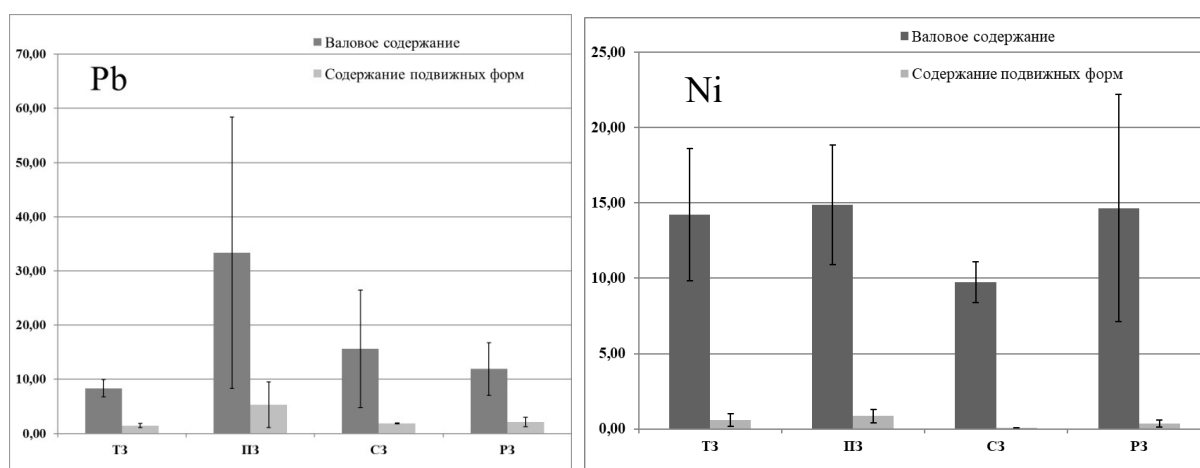


Рис. Содержание свинца и никеля (мг/кг) в почвах транспортной (ТЗ), промышленной (ПЗ), селитебной (СЗ) и рекреационной (РЗ) зон города Ухта. Планками погрешности показаны границы доверительного интервала для $p = 0,95$

Во всех исследованных т.н. в почвах города Ухта не отмечено превышения кларка содержания Ni в верхней части континентальной земной коры. Для Pb установлены превышения в почвах ПЗ (в 5 т.н.) – максимально в 6,5 раз, СЗ (в 2 т.н.) – максимально в 5,3 раза, в РЗ (в 2-х т.н.) – максимально в 1.1 раза. Превышение кларков, установленных для почв городов с населением менее 100 тысяч человек [3], выявлено как для Pb, так и для Ni. Превышения концентрации Pb отмечены в отдельных точках ПЗ (3 точки, максимально в 2,8 раза) и СЗ (1 точка в 2,3 раза). Для Ni превышения установлены в одной точке ТЗ (в 1,68 раза), ПЗ – в 2 точках (максимально в 1,46 раза), РЗ – в 2 точках (максимально в 1,52 раза).

Городские аналоги природных почв (подзол и пойменная почва) рекреационной зоны г. Ухта (территории 2 парков) характеризуются повышенным содержанием ТМ по сравнению с региональным фоновым уровнем [4]. Фоновый уровень, установленный для подзолов, по содержанию Pb превышен в 3,7, по содержанию Ni – в 2,75 раза. Для пойменной почвы города отмечено отсутствие превышения концентрации Ni по сравнению со Pb (фон превышен в 2,3 раза). Подобная особенность, возможно, связана с разными источниками поступления Pb и Ni в почвы исследованных территорий (аэрогенное и гидрогенное загрязнение, локальные источники).

Следует также отметить, что наибольшая степень подвижности соединений Pb (доля подвижных форм от валового содержания) характерна для почв ПЗ и РЗ (около 20 %), что, по-видимому, связано в РЗ – с более низкими значениями показателя pH, а в ПЗ – с более интенсивным техногенным воздействием, и, в целом, с низкой буферной способностью исследованных почв.

Таким образом, почвы города Ухта характеризуются относительно невысоким и безопасным уровнем загрязнения свинца и никеля. Загрязнение свинцом характеризуется высокой степенью неоднородности (промышленная и селитебная зоны), что указывает на присутствие локальных источников его

поступления, в отличие от никеля, концентрации которого варьируют в меньшей степени. Наибольшая подвижность изученных ТМ характерна для функциональных зон города, в почвах которых отмечено повышенное валовое содержание Pb и Ni, что может быть обусловлено как техногенным воздействием, так и низкой буферной способностью почв.

Библиографический список

1. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
2. Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
3. Алексеенко В. А., Алексеенко А. В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮФУ, 2013. 380 с.
4. Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми от 25.11.2009 г. № 529 «Об установлении нормативов фоновое содержание химических элементов и углеводородов в почвах Республики Коми».

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ БИОРЕМЕДИАЦИИ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДСКОГО ОКРУГА г. УСОЛЬЕ-СИБИРСКОЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

А. Н. Федосеев, А. С. Макарова

*Российский химико-технологический университет
имени Д. И. Менделеева, Andrew7080@yandex.ru*

Исторические территории бывших промышленных предприятий и прилегающие к ним зоны являются центрами загрязнений окружающей среды: почвы, водоносных слоев, атмосферы. Как правило загрязнения носят многоплановый характер – мультиметаллические заражения опасными тяжелыми металлами в сочетании с органическими загрязнениями создают серьезную угрозу на долгие годы. Такие территории необходимо восстанавливать до приемлемого экологического статуса и возвращать в обращение.

Территория бывшего химического комбината ООО «Усольехимпром» в г. Усолье-Сибирское является ярким примером подобной проблемы, требующей разработки и применения комплексного подхода и различных прогрессивных технологий восстановления почвенного слоя и водных объектов.

Ключевые слова: биоремедиация, тяжелые металлы, рекультивация, горчица сарептская.

На первом этапе было произведено ранжирование загрязненных участков, группировка локальных мест загрязнения и последующая разработка предложений по технологии и программе проведения ассистированной фиторемедиации [1–2] с учетом следующих факторов: тип поллютантов, присутствующих в почве; количество поллютантов; концентрация каждого поллю-

танта; класс токсичности каждого поллютанта; химическая природа ионов металлов-загрязнителей.

В качестве источника исходных данных были использованы материалы Отчетной документации по инженерным изысканиям ООО «Геотехпроект», Технический отчет по результатам инженерно-экологических изысканий 5/2020ЕИ-ИЭИ2.3 Часть 2, 5/2020ЕИ-ИЭИ2.4 Часть 2, 5/2020ЕИ-ИЭИ3.1 Часть 3, (расчетные файлы с концентрационными профилями поллютантов до глубины 2 м, коэффициентом суммарного загрязнения Z_c участков в районе скважин с отбором проб и ранжированием степени загрязнения). Согласно проанализированным данным, для удаления загрязняющих веществ с территории были выбраны участки с категорией загрязнения «ЧО» по приоритетным загрязнителям – тяжелым металлам, относящимся к I классу опасности (Hg, As, Cd, Zn, Pb).

На основании проведенной классификации загрязненных тяжелыми металлами территорий предлагаются способы фиторемедиации для выделенных кластеров и групп участков (табл.).

Таблица

**Комплексные технологии обработки участков в соответствии
с выделенными кластерами и группами
для обезвреживания загрязнений**

Группы / технологические решения	
Кластер 1: Мышьяково- и/или ртутнокадмиевые загрязнения *	
Группа 1: $\Sigma \text{ПДК (As; Hg)} < 10 \wedge \text{ПДК (Cd)} < 10$	
2-х этапная обработка для выведения разных по химической природе катионов	
Этап 1	Этап 2
Растения: Горчица сарептская (<i>Brassica juncea</i>) Реагенты: Предварительное внесение фосфорных/ фосфорнокалийных удобрений; обезвреживание почвы от катионов Hg и As с помощью серосодержащих хелатирующих реагентов (МЕВТА, тиосульфат аммония, тиосульфат натрия). Концентрация реагента 2–5 ммоль/л. Способ утилизации биомассы: компостирование/вторсырье	Растения: Мискантус, осина Реагенты: обезвреживание почвы от катионов кадмия с помощью фосфонсодержащего хелатирующего агента ($\text{K}_2\text{OЭДФ}$, предпочтительно) или карбоксилсодержащего хелатирующего агента (Трилон Б) в сочетании росторегулирующими добавками (ауксинами и гиббереллинами). Концентрация реагента 5 ммоль/л Способ утилизации биомассы: направление на переработку

Продолжение таблицы

Группа 2: $10 < \Sigma \text{ПДК (As; Hg)} < 20 \wedge \text{ПДК (Cd)} < 10$ 2-х этапная обработка для выведения разных по химической природе катионов.	
Этап 1	Этап 2
Растения: Горчица сарептская (<i>Brassica juncea</i>) Реагенты: Предварительное внесение фосфорных/ фосфорнокалийных удобрений; обезвреживание почвы от катионов Hg и As с помощью тиосульфат аммония/ натрия в сочетании с комплексом росторегулирующих добавок (ауксинами и гиббереллинами) Концентрация реагента 5–10 ммоль/л. Способ утилизации биомассы: направление на переработку	Растения: Мискантус, лебеда, подсолнечник Реагенты: Предварительное внесение фосфорных/ фосфорнокалийных удобрений; обезвреживание почвы от катионов кадмия с помощью фосфонсодержащего хелатирующего агента ($\text{K}_2\text{OЭДФ}$, предпочтительно) или карбоксилсодержащего хелатирующего агента (Трилон Б) в сочетании с росторегулирующими добавками (ауксинами и гиббереллинами). Концентрация реагента 5 ммоль/л Способ утилизации биомассы: Сохранение растений на территории
Группа 3: $20 < \Sigma \text{ПДК (As; Hg)} \wedge \text{ПДК (Cd)} < 10$ 2-х этапная обработка для выведения разных по химической природе катионов	
Этап 1	Этап 2
Растения: Горчица сарептская (<i>Brassica juncea</i>) Реагенты: Предварительное внесение фосфорных/ фосфорнокалийных удобрений; обезвреживание почвы от катионов Hg и As с помощью тиосульфат аммония/ натрия в сочетании с комплексом росторегулирующих добавок (ауксинами и гиббереллинами) Концентрация реагента 5–10 ммоль/л. Способ утилизации биомассы: озоление и утилизация золы в качестве опасного отхода	Растения: Мискантус Реагенты: обезвреживание почвы от катионов кадмия с помощью фосфонсодержащего хелатирующего агента ($\text{K}_2\text{OЭДФ}$, предпочтительно) или карбоксилсодержащего хелатирующего агента (Трилон Б) в сочетании с росторегулирующими добавками (ауксинами и гиббереллинами). Концентрация реагента 5 ммоль/л Способ утилизации биомассы: направление на переработку
Группа 4: $20 < \Sigma \text{ПДК (As; Hg)} \wedge \text{ПДК (Cd)} > 20$ 2-х этапная обработка для выведения разных по химической природе катионов	
Этап 1	Этап 2
Растения: Горчица сарептская (<i>Brassica juncea</i>) Реагенты: Предварительное внесение фосфорных/ фосфорнокалийных удобрений; обезвреживание почвы от катионов Hg и As с помощью тиосульфат аммония/ натрия в сочетании с комплексом росторегулирующих добавок (ауксинами и гиббереллинами) Концентрация реагента до 10 ммоль/л. Способ утилизации биомассы: озоление и утилизация золы в качестве опасного отхода	Растения: Мискантус Реагенты: обезвреживание почвы от катионов кадмия с помощью фосфонсодержащего хелатирующего агента ($\text{K}_2\text{OЭДФ}$, предпочтительно) или карбоксилсодержащего хелатирующего агента (Трилон Б) в сочетании с росторегулирующими добавками (ауксинами и гиббереллинами). Концентрация реагента 10 ммоль/л Способ утилизации биомассы: направление на переработку

Кластер 2: Мышьяковые и/или ртутные загрязнения *	
Группа 1: $\Sigma \text{ПДК (As; Hg)} < 10$ 2-х этапная обработка для выведения разных по химической природе катионов	
Этап 1	Этап 2
Растения: Горчица сарептская (<i>Brassica juncea</i>) Реагенты: Предварительное внесение фосфорных/ фосфорнокалийных удобрений; обезвреживание почвы от катионов Hg и As с помощью серосодержащих хелатирующих реагентов (тиосульфат аммония, тиосульфат натрия). Концентрация реагента 2–5 ммоль/л. Способ утилизации биомассы: компостирование/вторсырье	Растения: Мискантус, осина Реагенты: обезвреживание почвы от остаточных полиметаллических загрязнений с помощью карбоксилсодержащего хелатирующего агента (Трилон Б) в сочетании росторегулирующими добавками (ауксинами и гиббереллинами). Концентрация реагента 5 ммоль/л Способ утилизации биомассы: направление на переработку
Группа 2: $10 < \Sigma \text{ПДК (As; Hg)} < 20$	
Растения: Горчица сарептская (<i>Brassica juncea</i>), мискантус Реагенты: обезвреживание почвы от катионов As с помощью дигидрофосфата калия в сочетании с комплексом росторегулирующих добавок (ауксинами и гиббереллинами) Концентрация реагента до 10 ммоль/л. Способ утилизации биомассы: озоление и утилизация золы в качестве опасного отхода	
Кластер 3: Полиметаллические загрязнения	
Этап 1	Этап 2
Растения: Горчица сарептская (<i>Brassica juncea</i>) Реагенты: Обезвреживание почвы от катионов металлов с помощью $\text{K}_2\text{OЭДФ}$ или Трилона Б в сочетании с росторегулирующими добавками (ауксинами и гиббереллинами). Концентрация реагента 5 ммоль/л Способ утилизации биомассы: компостирование/вторсырье	Растения: Мискантус, подсолнечник, овес Реагенты: Обезвреживание почвы от катионов металлов с помощью $\text{K}_2\text{OЭДФ}$ или Трилона Б в сочетании с росторегулирующими добавками (ауксинами и гиббереллинами). Концентрация реагента 5 ммоль/л Способ утилизации биомассы: направление на переработку

Примечание: * в случае мышьяковых и мышьяково-кадмиевых загрязнений на первом этапе возможно использование в качестве хелатирующего агента дигидрофосфата калия (K_2HPO_4).

Для достижения ещё более значительного эффекта поглощения тяжелых металлов рекомендуется использовать функциональные добавки. Это могут быть, например, экзогенные регуляторы роста растений (PGRs): гиббереллины, ауксины; вещества, повышающие устойчивость растений к стрессу и увеличивающие выход биомассы (гуматы и др.). Взаимоусиливающее влияние хелатирующего агента и дополнительных функциональных добавок приводит к прибавке и накоплению биомассы растений и поглощению катионов тяжелых металлов.

Работа выполнена в рамках договора №11.55-Д-1.1-4823/2022 от 22.06.2022 года между Российским химико-технологическим университетом имени Д.И. Менделеева и ООО «Геотехпроект».

Библиографический список

1. Heavy Metal Pollutions: State of the Art and Innovation in Phytoremediation – A review / G. DalCorso, E. Fasani, A. Manara, G. Visioli, A. Furini // International Journal of Molecular Sciences. 2019. No. 20. P. 3412–3429.
2. Evangelou M. W., Ebel M., Schaeffer A. Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil. Effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents // Chemosphere. 2007. Vol. 68(6). P. 989–1003.

О ПРОБЛЕМЕ ВОВЛЕЧЕНИЯ ЗАБРОШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ОБОРОТ

Е. В. Дабах

*Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук,
Вятский государственный университет, ecolab2@gmail.com*

Обозначены проблемы вовлечения в сельскохозяйственный оборот постагрогенных земель на северо-востоке Европейской территории России (ЕТР). В частности, обсуждается целесообразность и перспективность этого процесса в регионах с умеренно-холодным климатом и распространением почв с низким естественным плодородием.

Ключевые слова: земли сельскохозяйственного назначения, постагрогенная сукцессия, трансформация почв залежи

В Российской Федерации площадь земель сельскохозяйственного назначения составляет 222 млн га. Точная площадь заброшенных земель не определена. По разным оценкам они составляют треть от общего количества – от 76 до 86 млн га. В России сегодня работает программа по возвращению в оборот 12 млн га в течение следующих десяти лет. Площадь парующей пашни составляет 14% , хотя должна составлять не более 10% [1]

В Нечерноземной зоне особенно велика доля зарастающих сельхозугодий. По социальным и экономическим причинам (неплодородные почвы, уменьшение численности населения, недостаточность государственной поддержки сельского хозяйства) процессы зарастания сельскохозяйственных земель древесной растительностью наиболее интенсивно протекали в Нечерноземной зоне Европейской России [2]. В Кировской области по данным Росреестра на 01.01.2021 г. площадь земель сельскохозяйственного назначения составляла 2913600 га, из них 2295300 га – пашни, на неиспользуемые земли сельскохозяйственного назначения приходится 55,7% – 1623026 га, из которых 1051094 га или 64% от площади заброшенных земель – пашни.

Процесс зарастания земель сельскохозяйственного назначения, с одной стороны, приводил к потере (иногда безвозвратной вследствие заболачивания, зарастания лесом) плодородных почв как средства сельскохозяйственного производства, при этом земли, которые с большими трудозатратами подготавливались под использование в качестве сельхозугодий, выходят из оборота; с другой стороны, в некоторых случаях он обеспечивал сохранение почвенного плодородия, увеличение микробной биомассы, а также усиливал секвестрацию углерода в экосистемах [3]. Сукцессионные изменения при смене землепользования обсуждаются и в зарубежной литературе [4, 5]. В условиях среднетаежной подзоны вновь образованные на залежных землях древостои по продуктивности нередко превосходят существовавшие до освоения, что обусловлено более высоким плодородием почв сельхозугодий [6].

На северо-востоке Европейской территории России (ЕТР) залежные земли находятся на разной стадии зарастания. Постагrogenная сукцессия залежи предопределяется размерами (площадью зарастания), рельефом местности, почвами, расположением относительно леса и его типом [7, 8]. В связи с этим для составления реестра зарастающих земель, степени и характера их зарастания необходимо использование данных дистанционного зондирования Земли [9].

В подзоне южной тайги в начальный период зарастания (до 5 лет) формируется злаково-бобово-разнотравная ассоциация, вторая стадия (5–10 лет) характеризуется выпадением из травостоя бобовых и увеличением доли разнотравья, третья стадия (10–20 лет) – зарастанием древесно-кустарниковой растительностью (сосна, береза, осина) и появлением в травостое бобовых, менее требовательных к плодородию почв, четвертая стадия (более 20 лет) – смыканием крон древесных пород и развитием лесного разнотравья [10]. Схема зарастания, представленная в работе [11] следующая: после завершения стадии рудеральной (сорной) растительности и господства корневищных злаков, требовательных к богатству почв, в составе растительности начинают преобладать рыхлокустовые злаки. В дальнейшем луга подвергаются интенсивному закустариванию и залесению. Смена луговой растительности лесной также имеет ряд стадий, завершающихся поселением коренных обитателей южно-таежных формаций: ельников и сосняка [12].

В условиях средней тайги пашенно-луговое землепользование значительно затрудняет процесс восстановления лесного покрова, характерного для этой зоны, что связано с образованием мощного слоя дернины. Лишь на отдельных участках лугов, выбывших из использования 5–10 лет назад, отмечено успешное возобновление хвойных пород, в частности, сосны. Характер связи деградационной сукцессии с динамикой свойств постагrogenных почв на северо-востоке ЕТР изучен недостаточно [13].

Известно, что в агродерново-подзолистых почвах южной тайги трансформация почвообразовательных процессов на залежных землях заключается в активизации гумусообразования в верхней (0–10 см) части бывшего пахотного горизонта, и развитии подзолистого процесса – в нижней (10–20 см).

При этом степень дифференциации зависит от типа ландшафта (в транзитном – она выше) и от возраста залежи (после 40 лет зарастания свойства почв на залежи приближаются к свойствам целинных аналогов) [6]. В процессе постагрогенной трансформации положительные изменения кислотно-основных свойств, достигнутые в результате окультуривания, постепенно утрачиваются [12]. В ходе демутационной сукцессии в подзоне южной тайги происходит увеличение кислотности в верхней части старопахотной толщи агродерново-подзолистых легких почв, развитых на двучленных породах. Наиболее резкое снижение pH соответствует стадии сомкнутого древостоя. При прекращении выкашивания травостоя происходит резкое увеличение кислотности в верхнем горизонте. В подзоне хвойно-широколиственных лесов происходит увеличение кислотности после прекращения распахивания, но затем по мере восстановления естественной растительности кислотность снова уменьшается [13].

В литературе также отмечены различия между дерново-подзолистыми почвами зарастающей пашни и сенокоса. В первом случае отмечено четкое увеличение содержания гумуса и запасов углерода в верхнем 30-см слое, во втором – уменьшение на самой ранней постагрогенной стадии сукцессии с последующим возрастанием. Распределение гумуса по профилю становится более дифференцированным при зарастании пашни, значительно меньше изменяется при зарастании сенокосов, кроме того, динамика изменения показателей гумусного состояния более четко проявляется в легких почвах. Активность дыхания почв снижается на первых стадиях сукцессии и существенно увеличивается при зарастании лесом [14]. Показано, что в ряду дерново-подзолистых почв южной тайги с возрастом залежи в старопахотном горизонте увеличивается содержание углерода лабильного органического вещества. Кроме того, при переходе от пашни к вторичному ельнику содержание углерода илистой фракции увеличивается в 2 раза, однако при увеличении абсолютного содержания углерода илистой фракции с возрастом залежи, его доля в составе органического вещества уменьшается [15].

Скорость возврата почв к исходному состоянию в процессе постагрогенной трансформации будет несколько запаздывать по сравнению со скоростью становления древостоя [12].

Таким образом, проблема трансформации растительности и почв на зарастающих землях сельскохозяйственного назначения широко обсуждается в отечественной и зарубежной литературе. Основные направления исследований растительности – это сукцессионные изменения в зависимости от природной зоны, от длительности пребывания земель в стадии залежи, в зависимости от площади, рельефа и других факторов. Обсуждаются также проблемы использования лесов, произрастающих на заброшенных землях сельскохозяйственного назначения [1].

Основные направления в исследовании почв: изменение морфологических признаков профиля в процессе зарастания почв сельхозугодий, изменение свойств почв в разных природных зонах, влияние постагрогенной трансформации на плодородие почв.

Кроме того, в литературе также отмечается, что все происходящие изменения природного комплекса на зарастающих землях сельскохозяйственного назначения требуют цифровых проектных решений на единой картографической основе.

В последние 5 лет в России наметилась положительная тенденция возврата залежных земель в активное сельскохозяйственное использование. В 2021 году вышло Постановление Правительства Российской Федерации №731 «О государственной программе вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развитии мелиоративного комплекса Российской Федерации». Целью Программы является «получение достоверных и актуальных сведений о количественных характеристиках и границах земель сельскохозяйственного назначения в отношении 100 процентов земель сельскохозяйственного назначения, включая количественные и качественные характеристики сельскохозяйственных угодий, вовлекаемых в оборот». Однако, в условиях умеренно-холодного климата на почвах с низким естественным плодородием, распространенных на северо-востоке ЕТР, в частности, в Кировской области, целесообразность и перспективность вовлечения в оборот заросших земель сельскохозяйственного назначения должна быть экономически и экологически обоснована. В связи с этим проводимые Агрохимической службой почвенные и агрохимические обследования постагrogenных земель должны иметь научное сопровождение.

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. Старостина Л., Лушникова М. Хозяева леса. В России начинает формироваться класс аграриев-собственников лесных территорий // Агротехника и технологии, ноябрь-декабрь 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/agrotechnika/88/> (дата обращения: 11.11.2022)
2. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive / P. V. Potapov, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, A. M. Krylov, J. L. McCarty, V. C. Radeloff, M. C. Hansen // Remote Sensing of Environment. 2015. Vol. 159. P. 28–43.
3. Postagrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia / O. Kalinina, L. Giani, S. V. Goryachkin, D. I. Lyuri // Catena. 2015. Vol. 129. P. 1829.
4. Vegetation changes during 100 years of development of two secondary woodlands on abandoned arable land / R. Harmer, G. Peterken, G. Kerr, P. Poulton // Biological Conservation, 2001. Vol. 101. Is. 3. P. 291–304.
5. Tikkanen O.-P., Ruokolainen A., Heikkilä R. Recovery of boreal forest structures near abandoned villages in Western White Sea Karelia, Russia // Scandinavian Journal of Forest Research. 2014. Vol. 29(2). P. 152–161.
6. Карпин В. А., Петров Н. В., Туюнен А. В. Восстановление лесных фитоценозов после различных видов сельскохозяйственного использования земель в условиях среднетаежной подзоны // Сибирский лесной журнал. 2017. № 6. С. 120–129.

7. Мониторинг зарастания заброшенных земель сельскохозяйственного назначения по спутниковым снимкам высокого разрешения / Е. А. Домнина, Т. А. Адамович, А. С. Тимонов, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 82–89. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-082-089
8. Оценка ситуации с зарастанием сельскохозяйственных земель лесной растительностью на примере Угличского района Ярославской области / А. Маслов, А. Гульбе, Я. Гульбе, М. Медведева, А. Сирин // Устойчивое лесопользование. 2016. № 4 (48) С. 6–14.
9. Блок работы с данными дистанционного зондирования Земли Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения / К. А. Буданов, П. В. Денисов, Е. А. Лупян, А. С. Мартыанов, И. И. Середа, К. А. Трошко, В. А. Толпин, С. А. Барталев, С. А. Хвостиков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. № 3. С. 171–182.
10. Леднев А. В., Дмитриев А. В. Современные почвообразовательные процессы в постагрогенных дерново-подзолистых почвах Удмуртской республики / Почвоведение. 2021. № 7. С. 884–896.
11. Афанасьев Р.А. Роль сравнительных экосистем в защите почв от разрушения // Кормопроизводство. № 4. 2001. С. 5–7.
12. Изменение кислотно-основных свойств окультуренных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава в процессе постагрогенной трансформации / А. В. Литвинович, В. Ф. Дричко, О. Ю. Павлова, Д. В. Чернов, М. В. Шабанов // Почвоведение. 2009. № 6. С. 680–686.
13. Динамика свойств почв и состава растительности в ходе постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах / В. М. Телеснина, И. Н. Курганова, В. О. Лопес де Гереню, Л. А. Овсепян, В. И. Личко, А. М. Ермолаев, Д. М. Мирин // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1514–1534.
14. Органическое вещество и биологическая активность постагрогенных почв южной тайги (на примере Костромской области) / А. С. Владыченский, В. М. Телеснина, К. А. Румянцева, Т. А. Чалая // Почвоведение. 2013. № 5. С. 570–582.
15. Изменение состава органического вещества дерново-подзолистых почв в результате естественного восстановления леса на пашне / А. А. Ерохова, М. И. Макаров, Е. Г. Моргун, И. М. Рыжова // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1308–1314.

**ВЛИЯНИЕ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN.
НА АКТИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ И МИКРОБНУЮ БИОМАССУ
ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ
(СРЕДНЯЯ ТАЙГА РЕСПУБЛИКИ КОМИ)**

Ю. А. Смотрина^{1,2}, Е. М. Лаптева², И. Г. Захожий², И. В. Далькэ^{1,2}

¹ Сыктывкарский государственный университет
имени Питирима Сорокина, smotrina-juliya@yandex.ru

² Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, lapteva@ib.komisc.ru

Представлены новые данные о биологической активности постагрогенных почв средней тайги. На основе метода субстрат-индуцированного дыхания оценены содержание углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) и скорость базального дыхания (БД). Выявлена тенденция снижения величины $C_{\text{мик}}$ в ряду постагрогенных дерново-подзолистых почв, занятых разными типами расти-

тельности – борщевик Сосновского, злаково-разнотравный луг, осинник. Установлены особенности сезонной динамики $C_{\text{мик}}$ и скорости БД в постагрогенных почвах.

Ключевые слова: постагрогенные почвы, борщевик Сосновского, базальное дыхание, микробная биомасса.

К значимым параметрам, позволяющим оценить биологические свойства почв, относят такие показатели как базальное дыхание и содержание микробной биомассы [1]. Эти параметры достаточно адекватно отражают изменение экологических условий в наземных экосистемах, в том числе и на постагрогенном этапе их развития [2]. Учитывая широкомасштабное внедрение на залежные земли такого инвазивного вида как борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.), представляет интерес выявление закономерностей изменения биологической составляющей почв постагрогенных экосистем под его влиянием.

Цель данной работы заключалась в изучении динамики респираторной активности и микробного пула в почвах постагрогенных экосистем средней тайги.

Исследования проводили в окрестностях г. Сыктывкар (Республика Коми, средняя тайга), на залежном участке (координаты: 61.645851 с. ш., 50.731263 в. д.), выведенном из агрорежима в 2012–2013 гг. Для проведения исследований использовали модельный участок (МУ), ранее осушенный системой открытого дренажа, площадью около 1 га, который в настоящее время активно зарастает *H. sosnowskyi*. В пределах участка выделены зоны, различающиеся по характеру растительности: (1) центральная часть МУ – занята монодоминантными сообществами *H. sosnowskyi*; (2) периферическая часть МУ, на которой сохранена злаково-разнотравная растительность без внедрения особей *H. sosnowskyi*; (3) участок МУ, зарастающий осиной (*Populus tremula* L.). В пределах каждой зоны в летний период 2022 проведен отбор проб почв в динамике (с мая по октябрь) для изучения их биологических свойств. Пробы почв отбирали послойно из бывшего пахотного горизонта (глубина 0–10, 10–20 см) постагрогенной дерново-подзолистой глееватой почвы в 5-кратной повторности на каждом выделенном участке. В образцах почв определяли скорость базального (БД) и субстрат-индуцированного (СИД) дыхания (повторность определения 3-кратная) с последующим расчетом величины углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) [3–5].

Известно, что специфика растительного вещества и объемы его поступления в почвы постагрогенных экосистем могут оказывать существенное влияние на жизнедеятельность почвенных микробных сообществ [1, 3]. Как показали ранее проведенные исследования [6], в биоклиматических условиях средней тайги продуктивность самоподдерживающихся зарослей борщевика Сосновского на залежных землях составляет в расчёте на сухое вещество $14,5 \pm 3,9$ т/га надземной и $7,7 \pm 1,6$ т/га подземной фитомассы. Это способству-

ет возврату в почвы постагрогенных экосистем значительного количества быстро минерализуемого органического вещества ($C_{орг.} \sim 7,4$ т/га), азота (~ 208 кг/га) и зольных элементов (~ 847 кг/га).

Результаты определения величины микробной биомассы в почвах МУ (рис. 1) свидетельствуют о достаточно высокой активности микробных сообществ в верхней части бывшего пахотного горизонта (0–10 см) постагрогенных почв средней тайги. Зафиксированные нами показатели величины $C_{мик}$ (230–912 мкг С/г почвы) сопоставимы с аналогичными данными, полученными для гумусоаккумулятивных горизонтов постагрогенных почв южной тайги. Для них отмечены величины порядка 110–755 мкг С/г почвы [7] и 400–940 мкг С/г почвы [1]. В горизонтах лесных подстилок вторичных лесов, формирующихся на залежах, этот показатель на порядок выше [7].

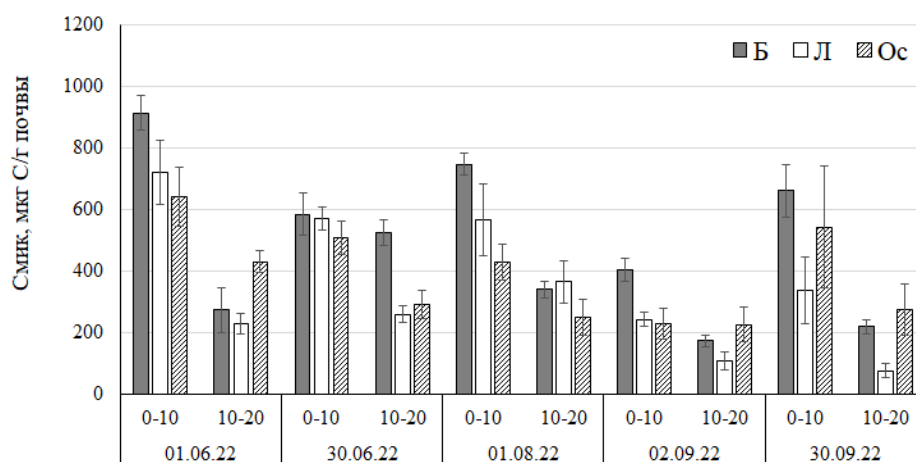


Рис. 1. Динамика углерода микробной биомассы в постагрогенных почвах на участках: Б – сообщество *Heracleum sosnowskyi*; Л – злаково-разнотравное сообщество; Ос – молодняк *Populus tremula*. Планками погрешности показаны границы доверительного интервала ($p = 0,95$)

Общей закономерностью исследованных нами почв является снижение во все сроки отбора величины $C_{мик}$ вниз по профилю почв (рис. 1). В слое почвы 10–20 см величина $C_{мик}$ в 1,1–4,4 раза ниже по сравнению с верхним слоем почвы – 0–10 см. Более резко дифференцированы почвы по этому показателю под всеми типами растительности в осенний (в 2,0–4,4 раза) и раннелетний (в 1,5–3,2 раза) периоды. Аналогичная тенденция отмечена многими авторами – она характерна и для целинных, и для постагрогенных почв [1, 3, 7].

Максимальные величины микробной биомассы отмечены на всех участках в раннелетний период (01.06.2022 г.), минимальные – к концу лета. Поступление свежего растительного опада в осенний период (30.09.2022 г.) обусловило всплеск активности почвенной микробиоты, что проявляется в возрастании на всех участках величины $C_{мик}$ по сравнению с предыдущим сроком отбора (02.09.2022 г.), но особенно значимо – на участках с борщевиком (в 1,6 раз) и в молодом осиннике (в 2,4 раза).

В исследованных нами почвах четко прослеживается тенденция снижения величины $C_{\text{мик}}$ в ряду: борщевик Сосновского → злаково-разнотравное сообщество → молодой осинник (рис. 1). Показатели $C_{\text{мик}}$ в верхнем слое почвы (0-10 см) в среднем за сезон составили 726, 549 и 531 мкг С/г почвы соответственно. В нижнем слое почвы (10-20 см) величина микробной биомассы различается в меньшей степени и составляет в среднем за сезон соответственно 307, 208 и 295 мкг С/г почвы. Более высокие значения углерода микробной биомассы в почве под зарослями борщевика Сосновского сопоставимы с почвами более южных регионов, в частности, с серыми лесными почвами [8]. Это может быть обусловлено высоким содержанием в почве под зарослями борщевика органического углерода и биофильных элементов, стимулирующих развитие почвенной микробиоты [6].

Дыхательная активность микробных сообществ, оцениваемая по величине скорости БД (рис. 2), варьировала в пределах от $0,6 \pm 0,2$ до $3,7 \pm 0,5$ мкг $C-CO_2/г \cdot ч$ (для слоя почвы 0-10 см) и от $0,1 \pm 0,1$ до $2,4 \pm 0,5$ мкг $C-CO_2/г \cdot ч$ (для слоя почвы 10-20 см). В отличие от микробной биомассы, скорость БД во всех исследованных почвах в среднем за сезон находилась примерно на одном уровне (в слое 0-10 см – $2,0-2,1$ мкг $C-CO_2/г \cdot ч$, в слое 10-20 см – $1,0-1,4$ мкг $C-CO_2/г \cdot ч$). В почве под борщевиком Сосновского этот показатель более стабилен (коэффициент вариации для слоя 0-10 см составил 35%, для слоя 10-20 см – 55%), нежели в почвах под злаково-разнотравным сообществом (73% и для слоя 0-10 см, и для слоя 10-20 см) и молодым осинником (соответственно 41 и 85%). Следует отметить, что в первой половине летнего периода на первое место по дыхательной активности выходят микробные сообщества почвы под злаково-разнотравной растительностью (глубина 0-10 см), а в осенний период – почвы участков с зарослями борщевика и молодого осинника (как на глубине 0-10, так и 10-20 см). Скорость базального дыхания более тесно коррелирует с величиной углерода микробной биомассы в почве под злаково-разнотравной растительностью (коэффициент корреляции r равен 0,77 и 0,86 соответственно для образцов почв 0-10 и 20-20 см). На остальных участках эти параметры положительно коррелируют друг с другом только в слое почв 0-10 см (в почве под борщевиком $r = 0,80$, в почве осинника – $r = 0,51$), в нижних слоях бывшего пахотного горизонта r соответственно 0,49 и -0,07. Поскольку для почв рассмотренных участков отмечено снижение уровня плодородия в ряду: борщевик Сосновского → злаково-разнотравное сообщество → молодой осинник (уменьшение в почвах содержания органического углерода и возрастание – кислотности), такие различия в специфике функционирования почвенной микробиоты обусловлены, скорее всего, особенностями состава и скорости минерализации растительных остатков, поступающих с опадом под разными типами растительности.

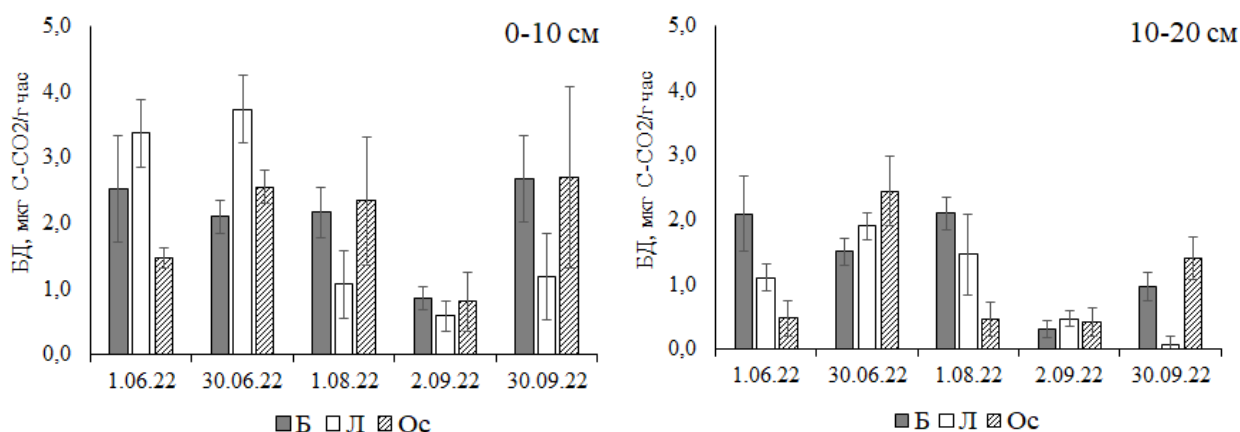


Рис. 2. Сезонная динамика скорости базального дыхания в постагрогенных почвах. Условные обозначения те же, что на рисунке 1

Таким образом, внедрение борщевика Сосновского на залежные земли и формирование их моновидовых сообществ способствует не только поддержанию и сохранению в биоклиматических условиях средней тайги плодородия почв в постагрогенных экосистемах, но и обуславливает активизацию жизнедеятельности почвенных микробных сообществ. Показано, что более высоким уровнем жизнедеятельности почвенной микробиоты, оцениваемой по величине углерода микробной биомассы и скорости базального дыхания, характеризуются постагрогенные почвы вне зависимости от типа растительного сообщества в осенний и раннелетние периоды – в период поступления свежего растительного опада и его активной трансформации и минерализации.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (номера госрегистрации: 122040600023-8 и 122040600021-4).

Библиографический список

1. Изменение запасов углерода, микробной и ферментативной активности агродерново-подзолов южной тайги в ходе постагрогенной эволюции / И. Н. Курганова, В. М. Телеснина, В. О. Лопес де Гереню, В. И. Личко, Л. А. Овсепян // Почвоведение. 2022. № 7. С. 825–842. doi: 10.31857/S0032180X22070073
2. Conversion of cropland to natural vegetation boosts microbial and enzyme activities in soil / L. Ovsepyan, I. Kurganova, V. Lopes de Gerenyu, Ya. Kuzyakov // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 743. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140829
3. Эмиссия CO₂, микробная биомасса и базальное дыхание чернозема при различном землепользовании / С. В. Сушко, Н. Д. Ананьева, К. В. Иващенко, В. Н. Кудеяров // Почвоведение. 2019. № 9. С. 1081–1091. doi: 10.1134/S0032180X19090090
4. Особенности определения углерода микробной биомассы методом субстрат-индуцированного дыхания / Н. Д. Ананьева, Е. А. Сусьян, Е. Г. Гавриленко // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1327–1333.
5. Anderson J. P. E., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. Vol. 10. No. 3. P. 215–221.
6. Влияние инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на плодородие постагрогенных почв Европейского Северо-Востока / Е. М. Лаптева, И. Г. За-

хожий, И. В. Далькэ, Ю. А. Смотрина, Э. А. Генрих // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 66–73. doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-066-073

7. Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов и коренных ельников южной тайги (Костромская область) / Н. Д. Ананьева, Е. А. Сусьян, И. М. Рыжова, Е. О. Бочарникова, Е. В. Стольникова // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1108–1116.

8. Влияние процессов лесовосстановления на микробиологическую активность постагрогенных почв Европейской части России / И. Н. Курганова, В. О. Лопес де Гереню, А. С. Мостовая, Л. А. Овсепян, В. М. Телеснина, В. И. Личко, Ю. И. Баева // Лесоведение. 2018. № 1. С. 3–23.

ОПЫТ ОЦЕНКИ АТТРАКТИВНОСТИ ПРИРЕЧНЫХ ГЕОСИСТЕМ ОХРАНЯЕМЫХ И РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*А. М. Прокашев, С. А. Пупышева, А. С. Матушкин, Р. Р. Чепурнов
Вятский государственный университет, amprokashev@gmail.com*

Представлен результат оценки эстетического потенциала приречных геосистем бассейна нижней части долины р. Вятка, популярных в туристско-рекреационном и природоохранном отношении, с использованием геолого-геоморфологических, биологических и гидрологических критериев. В основу положено 9 оценочных индикаторов в баллах, на основании которых выделено 4 категории локальных геосистем – от «наиболее живописных» до «эстетически невыразительных». Материалы могут использоваться в образовательной, эколого-просветительской и природоохранной деятельности.

Ключевые слова: эстетика геосистем придолинных ландшафтов реки Вятка.

В условиях ускорения современных тенденций деградации окружающей среды возрастает интерес к сближению сугубо научного и гуманитарного подходов в ландшафтно-географических исследованиях с природоохранными целями. Последнее определяется неуклонным сокращением площадей девственных ландшафтов под натиском техногенной цивилизации, с одной стороны, и потребностью населения в полноценном познавательном отдыхе на природе, с другой. Это может быть обеспечено при условии решения двудеиной задачи – сбережения природы и её одновременного использования для эколого-просветительской и туристско-рекреационной деятельности. Подобного рода компромиссы достигаются, в частности, путём организации национальных парков, территории которых наряду с природными достоинствами должны обладать пейзажной аттрактивностью, привлекающей отдыхающих. Авторами представлен опыт эстетической оценки территории на примере одного из таких уголков вятской земли – Кукарского (Советского) плато. Здесь р. Вятка прорезает наиболее приподнятые структуры Вятских Увалов, обра-

зую узкую живописную долину с обилием высоких крутых склонов, дополнительно глубоко рассеченных малыми притоками и логами.

Объекты исследования расположены в районе Атарской Луки, на стыке ландшафтных подзон южной тайги и северных типов смешанных лесов, в пределах ландшафтного экотона регионального уровня (рис. 1).

Методы исследования. Общепризнанные критерии ландшафтно-эстетической оценки в настоящее время отсутствуют, однако имеются успешные шаги в этом направлении [1–3], которые учитывались и были адаптированы к решению настоящей задачи [4].

Терминология, используемая в работе:

- «ландшафтный пейзаж», как основная операционная единица в ландшафтно-эстетических исследованиях;
- «пейзаж», как перспектива ландшафта, рассматриваемого либо с определенной точки местности, либо вдоль маршрута.

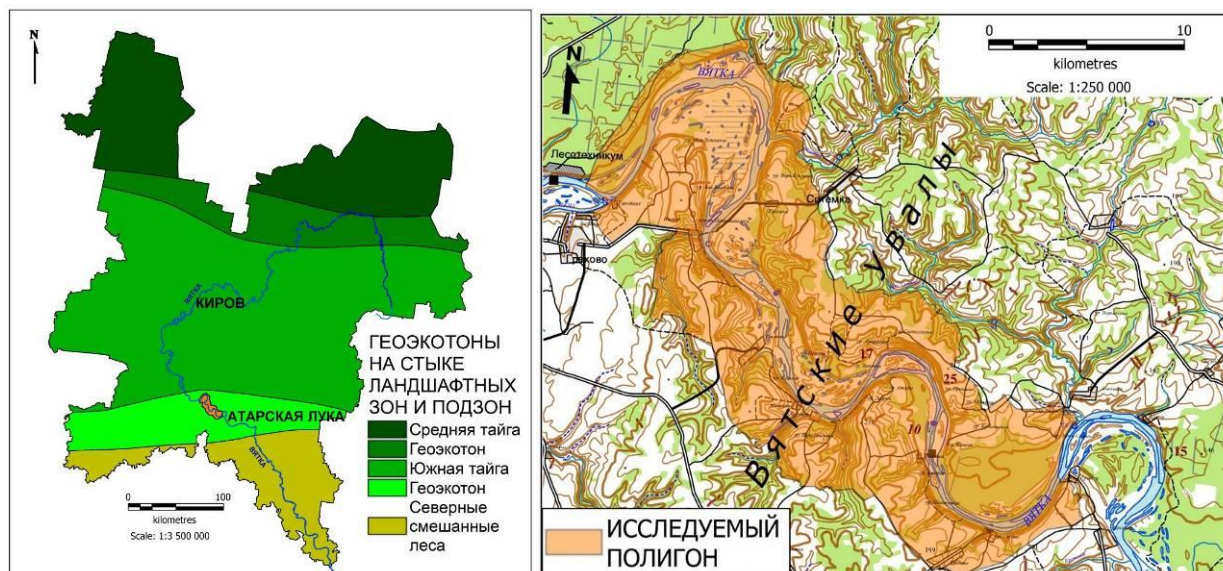


Рис. 1. Район исследований в месте пересечения р. Вятка Вятских Увалов

Авторы опирались на следующие критерии ландшафтно-эстетической ценности:

1. *Пейзажное разнообразие.* Оно оценивается в соответствии с любыми присутствующими структурно и композиционно разнообразными элементами (СВЭ), такими как склоны коренных берегов, обнажения, водоемы и леса, объединенные в три группы ландшафтообразующих компонентов: геолого-геоморфологические, биологические и гидрологические.

2. *Цветовая гамма.*

3. *Наличие пейзажно-композиционных узлов,* таких как отдельные куполообразные холмы, меандры, пойменные острова, пятна возделанных полей и т. д.

4. *Наличие композиционных осей* в виде рек, их берегов, балок, оврагов и т. д.

5. *Наличие пейзажных кулис*, подчеркивающих фокусные точки: склоны, обнажения, опушки леса, отдельные деревья и кустарники и т. д.

6. *Глубина и разнообразие ракурсов просмотра*, т.е. видовой перспективы: фронтальный, объемный и глубинно-пространственная перспектива.

7. *Залесенность*. Оптимальная степень лесистости находится в пределах 30–60%.

8. *Наличие в пейзаже «символических» объектов, визуальных доминант*, таких как озера, отдельные деревья, пляжи и отмели, скалы, а также церкви, колокольни.

9. *Степень антропогенной трансформации ландшафта*.

Баллы преобразованы в коэффициенты эстетической ценности (КЭЦ).

За единицу взято максимальное количество баллов, которое можно присвоить пейзажу, в нашем случае – 23 (табл.).

Таблица

Шкала оценки пейзажно-эстетической ценности ландшафтов

№	Оценочные показатели		Баллы
1	2		3
1	Пейзажное разнообразие (наличие структурно- и вещественно-разнородных элементов – СВЭ)	Пейзаж состоит из 1 СВЭ	1
		В пейзаже присутствуют 2–3 СВЭ при площадном преимуществе 1	2
		Пейзаж включает 3–4 СВЭ с преобладанием 2	3
		Пейзаж включает более 5 СВЭ с одинаковым удельным весом площадей	2
2	Цветовая гамма пейзажа	Чёрный, тёмно-серый	0
		Светло-серый, коричневый, палевый	1
		Голубой, зелёный	2
		Бирюзовый, зеленый с дополнительными проявлениями жёлтого, белого, фиолетового, синего, оранжевого, красного	3
3	Наличие и количество пейзажно-композиционных узлов	Отсутствуют	0
		1	1
		2–3	2
		4–5	3
		5–6	2
		7–8	1
		> 8	0
4	Наличие и количество пейзажно-композиционных осей в ландшафте	Отсутствует	0
		Одна композиционная ось	2
		Несколько композиционных осей	1
5	Наличие пейзажных кулис	Нет	0
		С одной стороны	1
		С двух сторон	2
6	Глубина видовой перспективы	Фронтальная	1
		Объёмная	2
		Глубинно-пространственная	3

1	2		3
7	Залесённость, %	0	0
		1–15	1
		16–30	2
		31–60	3
		61–85	2
		> 85	1
8	Наличие символических объектов в ландшафте	Отсутствуют	0
		Присутствуют	1
9	Антропогенная трансформация ландшафта	Условно неизменённый ландшафт	3
		Малоизменённый ландшафт	1
		Рационально преобразованный культурный ландшафт	2
		Нарушенный ландшафт	-3

I. Наиболее живописные пейзажи (16–20 баллов, КЭЦ 0,7–0,87) (рис. 2а):

- панорамные обзоры с приречно-водораздельных местоположений на водные пространства р. Вятка и её долину в местах сужения берегов;
- каньонообразные долины малых рек и овражно-балочных комплексов;
- панорамные и секторные виды на русло реки с верхних частей коренных склонов и верхних точек обнажений по берегам, обрамлённые кулисами из высокоствольной растительности;
- обширные пляжи в прирусловой зоне с видами на высокие коренные берега;
- панорамные ракурсы на водную гладь и склоны с точек уреза воды;
- необычные по форме и цвету геологические обнажения;
- сохранившиеся колокольни и храмы.

II. Живописные пейзажи (11–15 баллов, КЭЦ 0,48–0,69) (рис. 2б):

- малые реки и пойменные озёра в сочетании с высокоствольной растительностью, перемежающейся лугами;
- панорамы с удалённых плакорных местоположений на долины рек, лесные опушки и овражно-балочные комплексы;
- панорамы на водные пространства с точек на уровне уреза воды;
- объёмные пейзажи заливных лугов центральной поймы с кулисами из дубовых рощ и коренными склонами на заднем плане;
- боровые лесные массивы без густого подроста и подлеска на эоловом мезорельефе;
- лесные массивы коренных склонов с крупноствольными хвойными породами без густого подлеска.



а



б



в



г

Рис. 2. Примеры пейзажей разной живописности в районе Атарской луки:
а – с видовой точки в районе д. Мальково; *б* – сосновый зеленомошный лес
на эоловом мезорельефе; *в* – захламли́нное днище сухой балки;
г – вид вырубki в Белаевском бору

III. Мало живописные пейзажи (6–10 баллов, КЦ = 0,26–0,48) (рис. 2*в*):

- панорамы с плакорных и приречно-водораздельных позиций, перекрытые стихийно заросшими агроландшафтами;
- узкие видовые раскрытия на долину реки из оврагов;
- монотонные лесные массивы с густым подростом и подлеском;
- заболоченные межгрядные котловины и депрессии надпойменных террас;
- прибрежные ивняки и ольшаники;
- труднопроходимые пойменные луга с зарослями шиповника.

IV. Эстетически невыразительные пейзажи (1–5 баллов, КЭЦ менее 0,26) (рис. 2*г*):

- заброшенные агроландшафты, заросшие молодым сосновым или берёзовым мёртвопокровным лесом и гигантским борщевиком;

- пейзажи с визуальными «загрязнителями» – разрушенными сельскохозяйственными постройками, линиями электропередач, карьерами, размытыми или разбитыми дорогами;
- зоны стихийной жилой застройки и садово-дачного строительства, делянки на месте вырубок лесов, свалки.

Рассматриваемая территория с ландшафтно-эстетической точки зрения может быть отнесена к территориям, перспективным для организации туризма, отдыха, геоэкологического просвещения, природоохранной деятельности, включая разработку проектов создания национальных парков.

Библиографический список

Дирин Д. А. Пейзажно-эстетические ресурсы горных территорий: оценка, рациональное использование и охрана : монография. Барнаул : АзБука, 2005. 258 с.

Мотошина А. А., Вдовюк Л. Н. Оценка эстетических свойств ландшафтов Тобольского района Тюменской области в рекреационных целях // Географический вестник. 2012. № 4 (23). С. 10–20.

Николаев В. А. Ландшафтоведение: Эстетика и дизайн : учебное пособие. М. : Аспект Пресс, 2003. 176 с.

Чепурнов Р. Р., Прокашев А. М. Ландшафтная структура долинно-междуречного геоэктона нижней Вятки : монография. Киров : Изд-во ВятГУ, 2020. 210 с.

СЕКЦИЯ 4

ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ВЛИЯНИЕ РЯДА ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ИММОБИЛИЗОВАННЫЕ АКТИНОБАКТЕРИИ *RHODOCOCCLUS QINGSHENGII* GL Mm1

Т. Н. Кувичкина, Е. Н. Капаруллина, Н. В. Доронина, А. Н. Решетилов
ФИЦ «Пуцинский научный центр биологических исследований РАН
(Институт биохимии и физиологии микроорганизмов
имени Г. К. Скрыбина РАН), kuv@ibpm.pushchino.ru

Ранее было показано, что актинобактерии *Rhodococcus qingshengii* GL Mm 1, выделенные из образца глины Мертвого моря, могут быть использованы в качестве биорецептора в модели амперометрического биосенсора для определения фунгицида карбендазима. В данной работе исследовали влияние значений pH и ионной силы на сигналы биосенсора.

Ключевые слова: карбендазим, иммобилизация, *Rhodococcus qingshengii*, амперометрический биосенсор, значения pH, ионная сила.

Карбендазим (метил-1Н-бензимидазол-2-ил карбамат) представляет собой бензимидазольный фунгицид системного действия, используемый против широкого спектра грибковых заболеваний сельскохозяйственных культур [1]. Для штамма *Rhodococcus qingshengii* GL Mm 1, исследуемого авторами известно, что он может быть основой амперометрического биосенсора для определения карбендазима [2]. У восьми штаммов родококков проверили способность деградировать карбендазим, но кроме *Rhodococcus qingshengii* GL Mm 1, таковых не нашлось [3].

Целью работы было исследовать влияние значений pH и ионной силы на иммобилизованные клетки штамма актинобактерий *Rhodococcus qingshengii* GL Mm 1 в качестве биологического распознающего элемента (биохимического рецептора) при определения карбендазима;

Исследование проводили с карбендазимом фирмы Aldrich, 97%. В работе использовали штамм актинобактерий *Rhodococcus qingshengii* GL Mm 1. Штамм GL Mm 1 выделили из глины Мертвого моря (Израиль). На основании секвенирования гена 16S рРНК показано, исследуемый штамм принадлежит виду *Rhodococcus qingshengii* JCM15477^T.

Условия культивирования. Культуру выращивали на агаризованной среде ГКА (глюкозо-картофельный агар: 10 г глюкозы, 18 г агара, 300 мл

картофельного настоя, 700 мл дистиллированной воды) в течение 2–5 суток при температуре 28°C. Выросшую биомассу смывали 50 мМ калий-фосфатным буфером, pH 7,1. Далее биомассу отделяли центрифугированием при 10 000 g в течение 3 мин.

Иммобилизация клеток. Иммобилизованные клетки (ИМК) получали методом физической адсорбции. Для этого клеточную суспензию, содержащую 10 мкл 50 мМ калий-фосфатного буфера (pH 7,1) с 2 мг сырой биомассы, наносили на полоску носителя (хроматографическая стеклобумага Whatman GF/A Великобритании), формируя пятно диаметром 5 мм. Пятно подсушивали при комнатной температуре в течение 20 мин. Биорецептор фиксировали на измерительной поверхности кислородного электрода типа Кларка («Кронас», Россия) с помощью нейлоновой сетки.

Условия измерений. Измерения проводили в открытой кювете объёмом 2 мл в 50 мМ калий-фосфатным буфере (pH 7,1), насыщенном кислородом, при комнатной температуре. Для регистрации измерений использовался потенциостат IPC-Micro («Кронас», Россия). Регистрируемым параметром при фиксированном потенциале (-700 мВ) являлась максимальная скорость изменения выходного сигнала dI/dt (нА/с), связанная пропорциональной зависимостью со скоростью изменения концентрации потреблённого кислорода. После установления постоянного уровня тока в ячейку вводили 100 мкл пробы субстрата. После каждого измерения производили промывку ячейки тем же фосфатным буфером. Для обработки полученных результатов использовали компьютерную программу для нелинейной регрессии. (Sigma Plot 10).

Построение зависимостей ответа биосенсора от значений pH. Для измерения pH-зависимости использовали 50 мМ калий-фосфатный буфер, со значениями pH 5,7 до 10,9. В качестве субстрата использовали 160 мкМ карбендазим. Все исследования проверялись в трёх повторностях. Вариация данных не превышала 5 %.

Построение зависимостей ответа биосенсора от концентрации NaCl. Для исследования зависимости ответа биосенсора от ионной силы буферного раствора использовали концентрации растворов NaCl в диапазоне 25–500 мМ. В качестве субстрата использовали 160 мкМ карбендазим. Все исследования проверялись в трёх повторностях.

Значение pH среды является одним из факторов, влияющих на активность клеточных ферментов распознающего элемента. На рисунке 1 представлена зависимость сигналов биорецептора от значения pH используемого буфера.

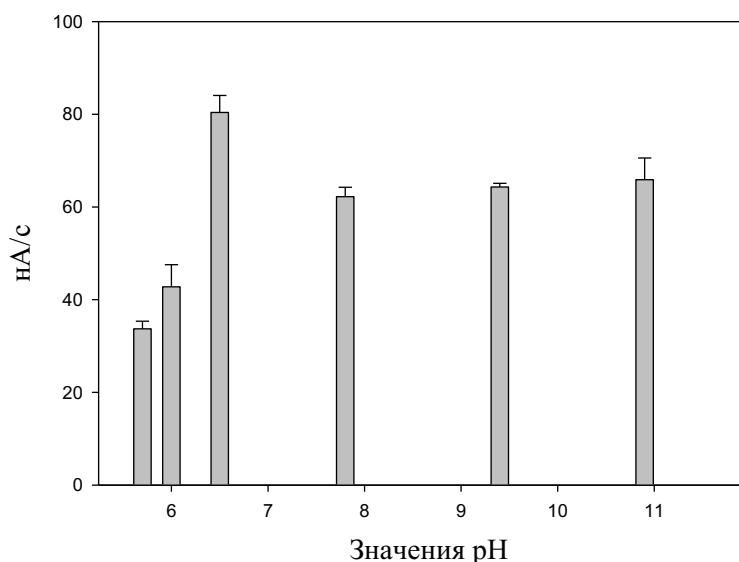


Рис. 1. Влияние различных значений pH на ИМК штамма *Rh. qingshengii* GL Mm1

Ферментные системы культуры регистрировали меньшие ответы на кислые значения pH по сравнению со щелочными значениями. Максимальный ответ биосенсора с ИМК *Rh. qingshengii* GL Mm1 наблюдался при pH 6,5.

Для исследования зависимости ответа биосенсора от ионной силы буферного раствора использовали концентрации растворов хлористого натрия в диапазоне 25–500 мМ. На рисунке 2 представлена зависимость ответов биосенсора от концентрации хлористого натрия.

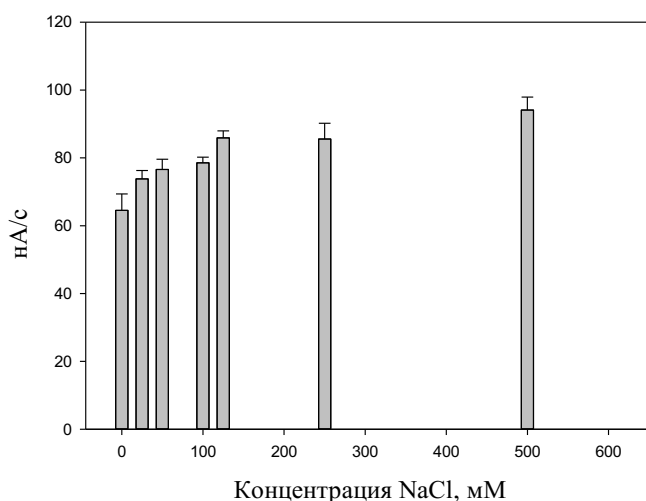


Рис. 2. Влияние различных концентраций NaCl на ИМК штамма *Rh. qingshengii* GL Mm 1

Из рисунка 2 видно, что штамм актинобактерий *Rh. qingshengii* GL Mm 1, выделенный из глины Мертвого моря, регистрирует высокий ответ на такие концентрации соли как 500 мМ. Возможно, это связано с тем, что Мертвое море самое соленое море в мире, с соленостью около 34%. (В одном литре

морской воды содержится 35 граммов солей, а в литре воды Мертвого моря – 275 граммов).

Таким образом, щелочные значения pH более предпочтительны для ИмК *Rh. qingshengii* GL Mm1 по сравнению с кислыми значениями, поскольку наблюдался рост каталитической активности ИмК. По отношению к ионной силе ИмК штамма регистрировали ответы на высокие концентрации хлористого натрия, что вероятно, связано с выделением штамма из глины Мертвого моря самого солёного в мире.

Библиографический список

1. Chen Y., Zhou M. G. Characterization of *Fusarium graminearum* isolates resistant to both carbendazim and a new fungicide JS399–19 // *Phytopathology*. 2009. Vol. 99. P. 441–446.
2. Актинобактерии *Rhodococcus qingshengii* GL Mm1 как основа для определения фунгицида карбендазима биосенсорным методом / Т. Н. Кувичкина, Е. Н. Капаруллиная, Н. В. Доронина, А. Н. Решетилов // *Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Кн. 2. Киров, 2021. С. 9–13.
3. Поиск родоккоков деструкторов карбендазима биосенсорным методом / Т. Н. Кувичкина, Е. Н. Капаруллиная, Н. В. Доронина, А. Н. Решетилов // *Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Кн. 2. Киров, 2022. С. 83–86.

ОСОБЕННОСТИ ЭПИФИТНОЙ МИКРОБИОТЫ СЕМЯН ЛЮПИНА

Л. И. Домрачева^{1,2}, Л. В. Трефилова¹, А. Л. Ковина¹, Ю. Н. Зыкова¹

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,

nm-flora@rambler.ru

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, *dli-alga@mail.ru*

Проведенный микробиологический анализ эпифитной микробиоты семян люпина белого показал, что существует значительная разница в численности, групповом и родовом составе посевных семян и семян нового урожая. На посевных семенах доминирующие позиции занимают микромицеты, в основном, представители р. *Aspergillus*, а среди бактерий – р. *Bacillus*. На семенах нового урожая, хотя общая численность микроорганизмов и выше в 2 раза, доминируют бактерии, представители семейств псевдомонад (*Pseudomonaceae*) и энтеробактерий (*Enterobacteriaceae*), а из грибов – р. *Penicillium*.

Ключевые слова: семена люпина, эпифитные микробные группировки.

Микроорганизмы, обитающие на поверхности семян растений (эпифитная микробиота), играют значительную роль как в процессе хранения собранного урожая, так и при последующем высеве в почву. Хотя в норме абсолютное большинство микробов-эпифитов являются гетеротрофными сапрофитами, повышенная влажность при закладке на хранение стимулирует массовое

размножение плесневых грибов с последующей потерей полезных свойств семян и в дальнейшем их гибелью.

При высеве в почву начинается совместное развитие эпифитной микробиоты и почвенных микробов, соприкасающихся с прорастающими семенами. При этом формируется так называемая спермосфера, которая по мере роста корней играет все более существенную роль в развитии растений, создавая своеобразный ореол, представленный микробиотой ризопланы и ризосферы.

Одни из первых исследований, посвященные эпифитной микробиоте семян, обобщены в монографиях еще в 60-е годы прошлого века [1, 2]. Уже тогда были представлены результаты количественного учета микроорганизмов на поверхности семян различных растений с колебаниями исследованных показателей от десятков тысяч до миллионов КОЕ/г в зависимости от вида растения, степени созревания, климатических условий и условий хранения. Показано, что критерием качества семян может служить не только общая численность микроорганизмов, но и их видовой состав. Обычно большую часть эпифитной микрофлоры составляют бактерии рр. *Pseudomonas* и *Xanthomonas*.

По составу эпифитных микробов можно оценить свежесть и срок хранения семян. Так, например, наличие микромицетов р. *Aspergillus* на зерновках пшеницы и ячменя и отсутствии бактерий р. *Erwinia* свидетельствует о нарушении параметров хранения зерна – повышенной влажности [3].

Современные исследования, посвященные изучению эпифитной микробиоты, показывают, что свойства микробов-эпифитов изменчивы в зависимости от изменения экологических и химических аспектов среды, в частности, изменения биохимического и микробиологического состава почвы при использовании биологических удобрений [4]. При этом модификация ризосферных микробных комплексов непосредственно влияет на микробиоту надземных частей растения.

Безусловно, состав эпифитной микробиоты меняется при предпосевной инокуляции семян биопрепаратами, содержащими культуры микробов-интродуцентов (азотфиксаторов, антагонистов, гидролитиков и др.). Практически всегда в производственных посевах происходит предварительная инокуляция семян бобовых растений культурами бактерий р. *Rhizobium*. При этом необходимо учитывать не только аборигенную эпифитную микробиоту семян, но также изменение ее состава и численности, если производится предварительная обработка семян, имеющих твердую оболочку, направленная на ее разрушение. Так, было установлено, что механическая скарификация семян лядвенца рогатого приводит к резкому увеличению численности микроорганизмов, а запаривание – к ее снижению. В то же время максимальная всхожесть семян наблюдается в случае скарификации, что и делает предпочтительным данный вид предпосевной обработки семян [5].

Цель данной работы – сравнить количественный и групповой состав эпифитной микробиоты семян люпина белого (*Lupinus alba*), используемых для посева, и семян нового урожая.

Люпин белый (*Lupinus alba*) сорта Дега селекции ФГБНУ Всероссийский НИИ люпина г. Брянск. В описании сорта указано, что урожайность зерна может достигать 41,3 ц/га; зеленой массы – 763 ц/га. Использование семян универсальное, устойчив к растрескиванию бобов и осыпанию семян на корню, к фузариозу и антракнозу. Период вегетации – 120 дней. Содержание белка в зерне 37–38%, в сухом веществе – 18–19%, содержание жира в зерне – 8–9%.

Определение численности эпифитной микробиоты семян люпина проводили методом предельных разведений с последующим посевом на три селективные среды ГРМ-агар (гидролизат рыбной муки) для учета бактерий-аммонификаторов, Эшби – для азотфиксаторов, Чапека – для микроскопических грибов. Семена, которые использовались для посева, хранились в товарной упаковке, а семена нового урожая извлекались в стерильных условиях из бобов непосредственно перед микробиологическим анализом, однако большинство плодов уже вскрылись естественным путем (у всех бобовых тип плода сухой, вскрывающийся).

Результаты опыта показали, что численность микроорганизмов на семенах люпина сравнительно невелика, в пределах 20–50 тыс. КОЕ/г (табл.).

Таблица

Численность эпифитной микробиоты семян люпина ($\cdot 10^3$ КОЕ/г)

Люпин	Аммонификаторы	Азотфиксаторы	Грибы	Всего
Посевной	3,0 $\pm$ 1,0	2,3 $\pm$ 0,5	15,3 $\pm$ 2,1	20,6 $\pm$ 3,6
Нового урожая	39,3 $\pm$ 4,7	3,7 $\pm$ 0,6	5,3 $\pm$ 1,5	48,3 $\pm$ 6,8

По общей численности микроорганизмов лидирующую позицию занимают семена нового урожая, превосходя этот показатель посевных семян более, чем в 2 раза. При этом резко различается структура микробных комплексов и доминирующие микробные группировки (рис.).

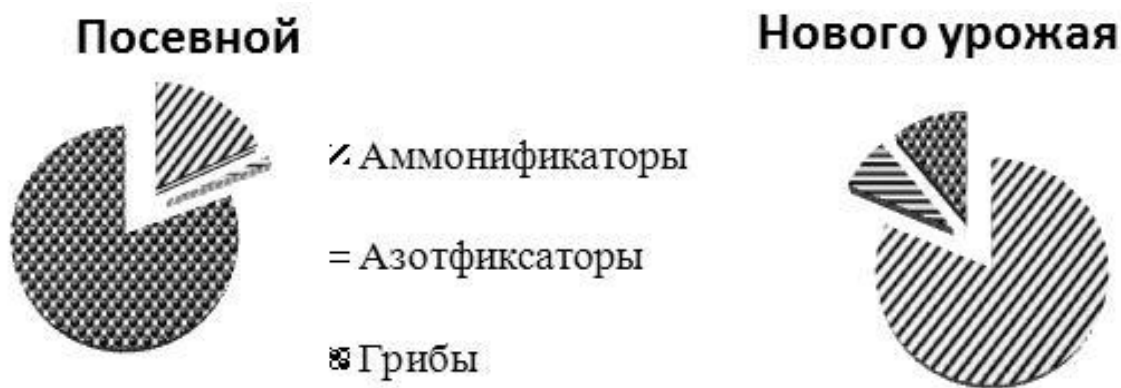


Рис. Структура эпифитных микробных группировок на семенах люпина (%)

Как видно из таблицы и рисунка, в посевном материале преобладают микромицеты, составляя до 80,7% от общей численности микробов. Основная их масса представлена грибами р. *Aspergillus*. Из бактерий лидируют виды р. *Bacillus*. Для семян нового урожая характерно доминирование бактерий (р. *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Erwinia*). Среди грибов лидерами являются виды р. *Penicillium*.

Таким образом, микробиологический анализ показал, что в процессе хранения семян люпина происходят очень сильные изменения состава и численности эпифитных микробных группировок. При этом грибное доминирование на посевном материале меняется на бактериальное на семенах нового урожая.

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. Мишустин Е. Н., Трисвятский А. А. Микробы и зерно. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1963. 292 с.
2. Возняковская Ю. М. Микрофлора растений и урожай. Ленинград : Изд-во «Колос», 1969. 240 с.
3. Поворова О. В., Авраменко Я. Н. Эпифитная микрофлора как индикатор всхожести и прорастания зерна // Проблемы устойчивого развития регионов Республики Беларусь и сопредельных стран : сб. науч. статей VI Междунар. науч.-практ. интернет-конф. Могилев, 2018. С. 118–122.
4. Монтиня И. М. Экологическая роль эпифитной микрофлоры в формировании микробоценозов // Экология и природопользование : сб. статей по материалам II Всерос. науч.-практ. конф. Краснодар : Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина, 2022. С. 242–246.
5. Влияние способов предпосевной обработки семян лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) на всхожесть и интенсивность образования клубеньков / Л. И. Домрачева, Л. В. Трефилова, А. Л. Ковина, Е. А. Горностаева, О. Н. Малыгина, Н. В. Новокшенова // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 67–72. doi: 10.25750/1995-4301-2014-3-067-072

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДПОСЕВНОЙ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ *TRIFOLIUM PANNONICUM*

**П. Д. Степанов, Ю. Н. Зыкова, Л. И. Домрачева, П. А. Стариков,
А. Л. Ковина, Л. В. Трефилова**
ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, nm-flora@rambler.ru

Представлены результаты применения микробиологической инокуляции семян клевера паннонского в полевых условиях. Показано, что обработка семян тройной ассоциацией *Rhizobium trifolii*, *Fischerella muscicola* и *Trichoderma* sp. стимулировала рост растений и образование клубеньков на корнях клевера.

Ключевые слова: инокуляция, бобовые, ризобиум, фишерелла, триходерма.

Выращивание бобовых культур дает возможность получить экологически чистую продукцию, как для пищевой промышленности (соя, горох, нут, фасоль), так и для кормопроизводства (клевер, козлятник, лядвенец, вика, люпин), так как при культивировании этих растений можно полностью отказаться от использования пестицидов [1]. Как правило, семена некоторых бобовых имеют твердокаменную оболочку, поэтому перед посевом их скарифицируют или запаривают для разрушения покровов, а затем обрабатывают биопрепаратами на основе азотфиксирующих клубеньковых бактерий (КБ) рода *Rhizobium* [2]. Инокуляция семян позволяет увеличить всхожесть семян, повысить урожайность зеленой массы и содержание белка. Для усиления нодуляции и ризогенного эффекта КБ целесообразно использовать в составе многокомпонентных ассоциаций. Ранее была доказана эффективность агрономически полезных консорциумов на основе КБ с другими почвенными микроорганизмами р.р. *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Streptomyces*, некоторыми видами цианобактерий (ЦБ), *Trichoderma* (ТД) и др. [3, 4].

В работе использовали семена клевера паннонского *Trifolium pannonicum*, сорт Снежок, выведенный сотрудниками ФАНЦ Северо-Востока М. Н. Грипась, Е. Г. Арзамасовой, Е. В. Поповой. Это ценное кормовое и декоративное растение отличающееся морозостойкостью и засухоустойчивостью, хороший медонос. Может расти в культуре до 10 лет. Из-за опушения листьев и грубости стеблей в зеленой массе животными поедается плохо, поэтому рекомендуют использовать на сено или силосовать.

Перед посевом семена скарифицировали с использованием наждачной бумаги. В день посева семена инокулировали согласно вариантам опыта (табл. 1). Для приготовления суспензий использовали клубеньковые бактерии *Rhizobium trifolii*, цианобактерию *Fischerella muscicola* (из коллекции кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятского ГАТУ) и *Trichoderma* sp. [5–7]. Титр КБ составил $6,1 \pm 0,36 \cdot 10^9$, ЦБ – $8,1 \pm 0,45 \cdot 10^6$ кл./мл, ТД (изолят К-01П) – составляет $7,15 \pm 0,96 \cdot 10^7$ конидий/мл.

Опыт проводили на территории агротехнопарка Вятского ГАТУ.

Аномально затяжная холодная весна 2022 г. не была благоприятна для прорастания и развития растений. Тем не менее, анализ всхожести семян клевера показал положительное влияние инокуляции семян на всхожесть во всех вариантах по сравнению с контролем (табл. 1). Максимальный показатель всхожести – 91% был отмечен в варианте при обработке семян трехкомпонентной ассоциацией микроорганизмов.

Таблица 1

**Влияние предпосевной инокуляции семян на всхожесть
клевера паннонского**

№ п/п	Вариант	Всхожесть, %
1.	Контроль	68
2.	<i>Rhizobium trifolii</i>	78
3.	<i>Fischerella muscicola</i>	71
4.	<i>Trichoderma</i> sp.	70
5.	<i>F. muscicola</i> + <i>T. sp.</i>	73
6.	<i>Rh. trifolii</i> + <i>F. muscicola</i>	87
7.	<i>Rh. trifolii</i> + <i>T. sp.</i>	85
8.	<i>Rh. trifolii</i> + <i>F. muscicola</i> + <i>T. sp.</i>	91

Примечание: жирным шрифтом выделено максимальное значение.

Результаты оценки развития растений в течение вегетационного периода показали заметное влияние любой инокуляции семян на стимулирование роста корней – на 15–150% больше, чем в контроле. Объем корневой системы значительно превышал (на 26–120%) этот показатель в контроле лишь в тех вариантах, где семена были инокулированы суспензией на основе ризобий (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние предпосевной инокуляции семян на рост и развитие
корневой системы клевера паннонского (в среднем на одно растение)**

№	Варианты	Длина корня, см	Количество клубеньков, шт		Объем корневой системы, см ³
			общее	окрашенных	
1.	Контроль	6,5±0,3	1,0±0,2	1,0±0,1	11,5±0,6
2.	<i>Rhizobium trifolii</i>	9,4±0,5	5,3±0,1	2,4±0,1	14,6±0,8
3.	<i>Fischerella muscicola</i>	7,5±0,1	1,2±0,5	1,0±0,1	11,4±0,7
4.	<i>Trichoderma</i> sp.	8,2±0,6	1,1±0,2	1,0±0,1	7,0±0,4
5.	<i>F. muscicola</i> + <i>T. sp.</i>	8,1±0,2	2,2±0,1	1,0±0,1	10,2±0,9
6.	<i>Rh. trifolii</i> + <i>F. muscicola</i>	18,0±1,1	5,4±0,3	2,5±0,1	14,8±1,1
7.	<i>Rh. trifolii</i> + <i>T. sp.</i>	8,6±0,9	3,1±0,1	1,5±0,1	20,0±0,9
8.	<i>Rh. trifolii</i> + <i>F. muscicola</i> + <i>T. sp.</i>	16,3±1,4	3,7±0,1	2,5±0,1	25,3±1,4

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные значения.

На развитие надземных органов растений заметное положительное влияние в большей степени оказала инокуляция семян суспензиями на основе *Rh. trifolii* и *F. muscicola*, но особенно ярко выраженный эффект был отмечен в варианте с обработкой семян тройной ассоциацией (табл. 3)

Таблица 3

Влияние предпосевной инокуляции семян на рост и развитие надземных органов клевера паннонского (в среднем на одно растение)

№	Варианты	Высота растения, см	Количество листьев, шт	Количество побегов, шт	Площадь листьев, см ²
1.	Контроль	10,0±0,9	8,1±0,6	2,5±0,2	14,2±1,9
2.	<i>Rhizobium trifolii</i>	12,8±0,6	9,2±0,1	7,2±0,5	25,8±1,0
3.	<i>Fischerella muscicola</i>	12,0±0,5	17,4±0,2	8,1±0,3	26,6±1,1
4.	<i>Trichoderma</i> sp.	8,9±1,1	9,0±0,3	4,6±0,6	17,1±1,2
5.	<i>F. muscicola</i> + <i>T.</i> sp.	11,3±0,9	13,8±0,5	7,7±0,1	28,7±1,0
6.	<i>Rh. trifolii</i> + <i>F. muscicola</i>	24,0±1,6	22,1±0,5	10,2±1,1	50,4±1,7
7.	<i>Rh. trifolii</i> + <i>T.</i> sp.	21,8±0,9	19,7±0,2	8,9±0,1	21,1±1,3
8.	<i>Rh. trifolii</i> + <i>F. muscicola</i> + <i>T.</i> sp.	26,1±1,4	24,3±1,1	10,9±1,1	54,6±2,9

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные значения.

Таким образом, анализ полученных результатов показывает, что в 1-й год вегетации клевера паннонского на его всхожесть, развитие подземной и надземной частей стимулирующий эффект оказала инокуляция семян культурами микроорганизмов в моно-, бинарной и тройной композиции. Особенно эффективен вариант с использованием тройного консорциума *Rhizobium trifolii*+*Fischerella muscicola*+*Trichoderma* sp.

Библиографический список

1. Завалин А. А., Благовещенская Г. Г. Вклад биологического азота бобовых культур в азотный баланс земледелия России // Агрохимия. 2012. № 6. С. 32–37.
2. Золотарев В. Н. Прайминг как фактор повышения эффективности семеноводства лядвенца рогатого // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. трудов. М. : Угрешская типография, 2020. С. 94–105.
3. Оптимизация микробиологического состава биопрепарата при выращивании лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.). / Л. И. Домрачева, Д. В. Козылбаева, А. Л. Ковина, Л. В. Трефилова, Ю. Н. Зыкова, М. Н. Грипась, В. А. Изотова // Теоретическая и прикладная экология. № 1. 2019. С. 94–101. doi: 10.25750/4995-4301-2019-1-094-101
4. 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: 10.25750/4995-4301-2021-3-021-030
5. Использование почвенных цианобактерий в агрономической практике / Л. И. Домрачева, Ю. Н. Зыкова, Л. В. Трефилова, А. Л. Ковина // Инновационное развитие агропромышленного комплекса как фактор конкурентоспособности: проблемы, тенденции, перспективы : коллективная монография. Киров : Вятская ГСХА, 2020. С. 22–39.

ВЛИЯНИЕ МИКРОБНОЙ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН НА РАЗВИТИЕ ГРИБНЫХ БОЛЕЗНЕЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

П. А. Стариков¹, Т. К. Шешегова², Л. М. Щеклеина²,
Л. И. Домрачева^{1,3}, Л. В. Трефилова¹

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
ya.starikov-pavel@yandex.ru

² Федеральный аграрный научный центр
Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, immunitet@fanc-sv.ru

³ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Изучали иммунологическое состояние яровой пшеницы, семена которой инокулировали *Trichoderma* sp., *Fischerella muscicola* и их сочетаниями, а также заражали фитопатогеном *Fusarium culmorum*. Установлена на уровне химического фунгицида Максим антибиотическая активность микроорганизмов. Наибольшее снижение септориоза и темно-бурой пятнистости (на 3,8% и 2,0%) было при инокуляции семян цианобактерией *F. muscicola*; корневых гнилей – при инокуляции *F. muscicola* и ассоциациями *Trichoderma* + *Fischerella* (на 11,9% и 11,1%).

Ключевые слова: *Trichoderma*, *Fischerella*, *Fusarium*, фузариоз и септориоз листьев, темно-бурая пятнистость, корневые гнили.

Наряду с положительными эффектами потепления климата на территории Евро-Северо-Востока России, отмечается усиление вредоносности возбудителей корневых гнилей, септориоза, гельминтоспориоза и других болезней зерновых культур [1].

Наиболее широко используемым методом снижения вредоносности инфекций сельскохозяйственных культур является применение химических средств защиты. Однако часто усиленная пестицидная нагрузка способна приводить к неблагоприятным экологическим последствиям [2]. По этой причине, наряду с возделыванием устойчивых сортов, актуальной задачей является разработка экологически безопасных стратегий биологического контроля распространения фитопатогенов с использованием микробов-антагонистов [3].

В качестве перспективных биоагентов для защиты растений могут использоваться грибы рода *Trichoderma*, а также некоторые цианобактериальные штаммы [4, 5]. Кроме того, данные группы микроорганизмов обладают и другими агрономически ценными свойствами, включая стимуляцию роста и развития растений за счёт их гормональной регуляции и мобилизации труднодоступных питательных элементов [6, 7]. В связи с этим, изучение биологического потенциала триходермы и цианобактерий, а также их консорциумов является перспективной задачей современного земледелия.

Изолят К-01П с антагонистическими свойствами выделен из почвы, отобранной у берега реки Мостовицы в микрорайоне «Чистые пруды» города

Кирова. По культуральным и морфологическим свойствам данный штамм соответствует роду *Trichoderma* [8]. Цианобактерия *Fischerella muscicola* (Thur.) Gom. шт. 300 с антифузариозной активностью выделена из дерново-подзолистой почвы в Кировской области, поддерживается в альгологически чистом виде в коллекции фототрофных микроорганизмов кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятского ГАТУ. Для искусственного заражения семян применяли высокопатогенный штамм *Fusarium culmorum* P-3/16, изолированный из зерна озимой ржи (2016 г.) сотрудниками лаборатории иммунитета и защиты растений ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого. В качестве эталонного варианта использовали химический фунгицид МАКСИМ[®] от компании «Ваше хозяйство». Тест-культурой являлась яровая пшеница сорта Баженка.

Цель исследований – оценить характер влияния предпосевной инокуляции семян пшеницы яровой различными группами микроорганизмов на интенсивность развития грибных заболеваний.

Перед посевом семян проводили инокуляцию их в суспензиях *Trichoderma* sp. (с титром $7,15 \pm 0,96 \cdot 10^7$ конидий/мл), *F. muscicola* (с титром $1,15 \pm 0,18 \cdot 10^7$ кл./мл) и *F. culmorum* (с титром $8,90 \pm 0,34 \cdot 10^5$ конидий/мл). Титры суспензий определяли путем подсчета в камере Горяева в 4-х повторностях. Культуры микромицетов выращивали на агаризованной среде Чапека, а цианобактерии – на жидкой среде Громова № 6 без азота [9]. Суспензии триходермы и фузариума готовили путем смыва спор стерильной водой с поверхности среды. В качестве цианобактериального инокулянта использовали жидкую культуру *F. muscicola*.

Варианты опыта: № 1 – контроль; № 2 – *Trichoderma* sp. К-01П; № 3 – *Fischerella muscicola* шт. 300; № 4 – *Fusarium culmorum* P/3-16; № 5 – *Trichoderma* + *Fischerella*; № 6 – *Trichoderma* + *Fusarium*; № 7 – *Fischerella* + *Fusarium*; № 8 – *Trichoderma* + *Fischerella* + *Fusarium*; № 9 – химический фунгицид (эталон).

В вариантах опыта № 2, 3, 4 семена инкубировали в суспензии в течение получаса. В варианте № 5 семена выдерживали 30 минут в смеси *Trichoderma* + *Fischerella* в соотношении 1:1. В вариантах № 6, 7 и 8 семена замачивали в течение получаса в суспензиях антагонистов, затем подсушивали, после чего выдерживали в суспензии фитопатогена в течение 30 минут, имитируя заражение инфекцией. В варианте № 9 семена выдерживали в 0,2%-ном растворе препарата МАКСИМ[®] в течение 30 минут. Суспензии и рабочие растворы использовали в соотношении 12 мл / 20 г семян. В контроле семена не обрабатывали. Опыт закладывали на фитопатологическом участке лаборатории иммунитета и защиты растений ФАНЦ Северо-Востока. Повторность в опыте 4-х кратная, площадь делянок 1 м², норма высева 400 семян/м². Посев проведен 6 мая 2022 г.

В течение вегетации проводили мониторинг развития грибных болезней и четырехкратный учет листовых пятнистостей с целью анализа скорости нарастания грибной инфекции в вариантах опыта. Для дальнейших расчетов

использовали относительный показатель ПКРБ (площадь под кривой развития болезни), который вычисляли по формуле [10]:

$$S = \frac{(X_1 + X_2) \times (t_2 - t_1)}{2} + (X_{n-1} + X_n) \times (t_n + t_{n-1}),$$

где X_1 – интенсивность развития болезни в первый учет, %; X_2 – интенсивность развития болезни во второй учет, %; X_n – интенсивность развития болезни в последний учет, %; X_{n-1} – интенсивность развития болезни между последним и предпоследним учетом, %; $t_2 - t_1$ – количество дней между первым и вторым учетом; $t_n + t_{n-1}$ – количество дней между последним и предпоследним учетом.

Чем меньше значения ПКРБ, тем медленнее идет нарастание инфекции в сортовых биоценозах.

Корневые гнили оценивали однократно в период окончания патологического процесса и наибольшего проявления болезни – в фазу полной спелости семян. Использовали общепринятую методику и 4-балльную шкалу М. Ф. Григорьева [11].

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием пакета программ Excel и Agros.

В наших исследованиях получены предварительные данные, свидетельствующие о достаточно продолжительном антибиотическом действии инокуляции семян пшеницы изучаемыми микроорганизмами. Это выразилось в тенденции снижения развития септориоза и темно-бурой пятнистости во всех вариантах опыта, несмотря на невысокое проявление болезней в условиях естественной инфекционной нагрузки *Septoria* sp. и *Bipolaris sorokiniana* (табл. 1). Поскольку одним из источников большинства болезней сельскохозяйственных культур является семенной и посадочный материал, то его предпосевная обработка химическими и биологическими препаратами является одним из экологических методов защиты растений в течение вегетации [12, 13]. Статистически доказанное снижение обеих болезней было в эталонном варианте (на 4,4% и 2,2%) и при инокуляции семян цианобактерией *F. muscicola* (на 3,8% и 2,0%). При этом обнаружено, что антибиотическая активность штаммов цианобактерии и триходермы проявляется и в консорциуме с патогенным видом *F. culmorum*, о чем свидетельствует достоверное снижение (на 4,0 и 4,4%) развития септориоза.

Таблица 1

**Развитие грибных болезней на растениях пшеницы
(в среднем по повторениям, 2022 г.)**

Вариант опыта	Степень поражения, %									
	септориозом					темно-бурой пятнистостью				
	1 учет	2 учет	3 учет	4 учет	± к кон- тролю	1 учет	2 учет	3 учет	4 учет	± к кон- тролю
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4,2	4,8	5,8	11,7	–	3,3	4,3	4,7	7,5	–
2	2,3	3,8	4,7	9,5	–2,2	3,0	4,0	4,6	6,3	–1,2
3	4,0	4,5	5,0	7,9	–3,8*	3,0	4,0	4,0	5,5	–2,0*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	4,7	5,5	6,2	8,5	–3,2	3,8	4,7	5,5	6,8	–0,7
5	4,0	5,0	6,0	9,3	–2,4	3,8	4,7	4,7	5,2	–2,3*
6	4,3	5,0	5,7	8,4	–3,3	4,0	5,0	5,3	6,3	–1,2
7	4,3	6,0	6,3	7,7	–4,0*	4,7	5,0	5,0	6,3	–1,2
8	4,7	5,3	5,8	7,4	–4,3*	4,0	4,7	5,0	6,2	–1,3
9	3,7	5,0	5,3	7,3	–4,4*	3,0	4,3	4,3	5,3	–2,2*

Примечание: 1 учет (28.06.) фаза флаг-лист, 2 учет (11.07.) фаза цветение, 3 учет (18.07.) фаза конец цветения, 4 учет (01.08.) фаза молочно-восковая спелость.

* – достоверно к контролю при $P \geq 0,95$.

Судя по показателю ПКРБ, наименьшая скорость нарастания инфекции *Septoria* sp. наблюдалась при инокуляции семян *Trichoderma* sp., где его значение было на 23% ниже контроля. Наименьшее развитие *Bipolaris sorokiniana* отмечено после инокуляции семян *F. muscicola*, где значение ПКРБ на 16% ниже контрольного варианта (рис.).

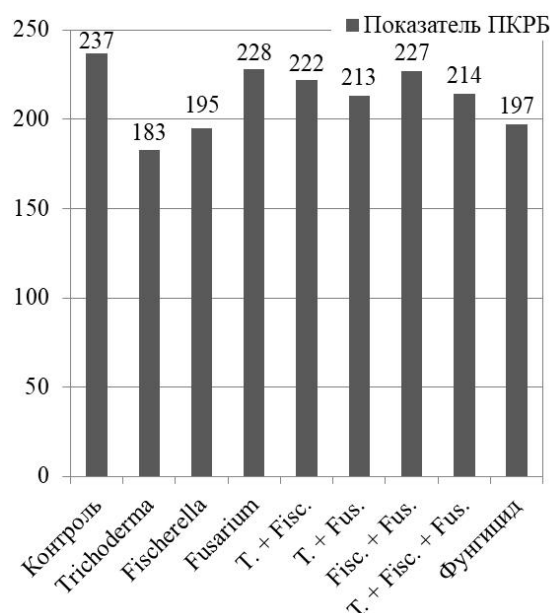


Рис. Показатель ПКРБ в вариантах опыта

При анализе корневых гнилей в четырех вариантах опыта выявлены статистически доказанные изменения иммунологических признаков (табл. 2). Так, заспорение семян *F. culmorum* привело к существенному увеличению поражения (на 10,4%) и развития болезни (на 3,3%). Наилучшее фитосанитарное состояние корневой системы растений было при обработке семян химическим фунгицидом: поражение уменьшалось на 14,9%, а развитие болезни – на 5,1%. Достоверное снижение корневых гнилей выявлено и при бактериальной обработке семян *F. muscicola* и ассоциацией *Trichoderma* + *Fischerella*. Следует отметить также высокую антагонистическую активность бинарных смесей цианобактерии и триходермы с фузариями. В этих вариантах штаммы

F. muscicola и *Trichoderma* sp. подавляли не только семенную инфекцию, но и аборигенную почвенную.

Таблица 2

**Распространение и развитие корневых гнилей пшеницы
(в среднем по повторениям 2022 г.)**

Вариант опыта	Поражение		Развитие болезни	
	%	± к контролю	%	± к контролю
1	33,5±8,1	–	9,9±2,5	–
2	28,8±4,3	–4,7	8,1±2,0	–1,8
3	21,6±5,1	–11,9	5,4±1,2	–4,5
4	43,9±6,4	+10,4	12,2±1,9	+3,3
5	22,4±6,4	–11,1	6,5±1,6	–3,4
6	26,3±3,9	–7,2	10,4±1,8	+0,5
7	25,3±5,4	–8,2	10,5±4,5	+0,6
8	33,1±4,5	–0,4	10,1±1,0	+0,2
9	18,6±7,2	–14,9	4,8±2,1	–5,1
НСР ₀₅	10,3		3,9	

Таким образом, предпосевная инокуляция семян пшеницы штаммами *Trichoderma* sp. и *F. muscicola* обеспечивает продолжительную (на уровне химического препарата) защиту от корневых гнилей и некоторых пятнистостей листьев, что делает их перспективными в качестве биоагентов.

Библиографический список

1. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М. Фитопатогенная биота в условиях потепления климата (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 6–13. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-006-013
2. Астарханов И. Р., Ашурбекова Т. Н., Рамазанова З. М. Влияние пестицидной нагрузки на окружающую среду и пути его снижения // Проблемы развития АПК региона. 2014. Т. 20. № 4(20). С. 49–52.
3. 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
4. Sood M., Kapoor D., Kumar V., Sheteiwy M.S., Ramakrishnan M., Landi M., Araniti F., Sharma A. *Trichoderma*: the «secrets» of a multitasking biocontrol agent // Plants (Basel). 2020. Vol. 9. No. 6. P. 762. doi: 10.3390/plants9
5. 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
6. 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
7. Hoyos-Carvajal L., Orduz S., Bissett J. 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

8. Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов / пер. с англ. К. Л. Тарасова и Ю. Н. Ковалева; под ред. И. Р. Дорожковой. М. : Мир, 2001. 468 с.
9. Нетрусов А. И., Егоров М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М. : Академия, 2005, 608 с.
10. Johnson D. F., Wilcoxson R. D. A table of areas under disease progress curves // Technical Bulletin, Texas Agriculture Experiment Station. Texas. 1981. Vol. 137. P. 2–10.
11. Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Л., 1976. 60 с.
12. Монастырский О. В. Биозащита зерновых культур от токсиногенных микроорганизмов // Защита и карантин растений. 2003. № 2. С. 5–8.
13. Санин С. С. Защита растений и устойчивое земледелие в XXI столетии // Защита и карантин растений. 2020. №. 4. С. 9–16.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

**И. Г. Широких^{1,2}, С. Ю. Огородникова¹,
Я. И. Назарова², О. Н. Шуплецова²**

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

² ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого

Для повышения устойчивости к засолению почвы в геном табака (*Nicotiana tabacum* L.) был введен бактериальный ген холинксидазы *codA* из *Arthrobacter globiformis*. В модельном эксперименте трансгенные растения продемонстрировали в условиях солевого стресса (200 мМ NaCl) более высокие морфометрические и биохимические показатели по сравнению с растениями дикого типа.

Ключевые слова: осмопротектор, глицинбетаин, трансформация, перекисное окисление липидов, пластидные пигменты.

Процесс засоления почв, в связи с текущими климатическими изменениями, становится одной из основных проблем мирового сельского хозяйства. Из 250 млн га орошаемых земель Земного шара 50% уже засолены и еще 10 млн га ежегодно по этой же причине опустыниваются. Засоление снижает урожайность многих сельскохозяйственных культур, а сильно засоленная почва может привести даже к полной гибели выращиваемых сельскохозяйственных растений [1].

В сложном комплексе исследований, направленных на преодоление процессов почвенной деградации особое значение имеют биологические подходы. Во всем мире для улучшения качества почвы, в т.ч. засоленной, и для увеличения урожайности сельскохозяйственных культур используются симбиотические и ассоциативные галофильные микроорганизмы, которые положительно влияют на процесс восстановления засоленных земель, а также на

рост и развитие растений, повышая их устойчивость к стрессу, обусловленному высокой концентрацией солей [2, 3]. На основе природных изолятов азотфиксирующих бактерий из засоленных земель некоторых районов Армении разрабатывается биоудобрение, способствующее рекультивации засоленных посевных площадей [4].

Альтернативной стратегией противодействия негативным последствиям засоления является повышение устойчивости к солевому и осмотическому стрессам самих растений. Известно, что накопление в клетках глицинбетаина (ГБ), обладающего осмопротекторными свойствами, является одним из важных механизмов адаптации растений к солевому стрессу [5]. У большинства растений уровень естественного накопления ГБ бывает недостаточным для адекватной регуляции осмотического давления в условиях стресса. Однако трансгенные формы, несущие гетерологичный ген холиноксидазы, способны к сверхнакоплению ГБ, вследствие чего лучше адаптируются к высоким концентрациям соли [6].

В нашей работе для повышения устойчивости к засолению почвы в геном табака (*Nicotiana tabacum* L.) путем агробактериальной трансформации был введен бактериальный ген холиноксидазы *codA* из почвенной актинобактерии *Arthrobacter globiformis* (Conn) Conn & Dimmick. Пробирочные растения с молекулярно подтвержденной экспрессией гена *codA* были получены из ИФР им. К.А. Тимирязева (Москва). Растения микроклонально размножили на среде Мурасиге-Скуга [7]. Растения дикого типа (сорт Самсун) и трансгенной линии Cod 38 выращивали в условиях солевого стресса, индуцированного хлоридом натрия в концентрации 200 мМ. О солеустойчивости сравниваемых генотипов судили по морфометрическим показателям и способности сохранять пул фотосинтетических пигментов. Для оценки чувствительности растений к солевому стрессу определяли интенсивность перекисных процессов и активность антиоксидантных ферментов.

Спустя пять недель с момента высадки растений табака в сосуды с обычной (контрольный фон) и засоленной (200 мМ NaCl) почвой, трансформанты, как и растения дикого типа, испытывали негативное воздействие стресса (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид одновозрастных растений табака Самсун (S) и трансгенной линии (38) на обычном фоне (К) и засоленной почве (NaCl)

Сравнение морфометрических показателей табака разных генотипов показало, что, под воздействием солевого стресса снизились линейные размеры растений. Так, на фоне 200 мМ NaCl высота растений дикого типа была в 5 раз, а у линии Cod 38 в 4,6 раза меньше, чем в контроле. Длина листьев в стрессовых условиях в среднем снизилась в 2,3–2,9 раз. Количество листьев, практически одинаковое у растений сравниваемых генотипов на обычном фоне, при стрессе существенно сократилось у табака Самсун, но практически не изменилось у растений с гетерологичным геном из актинобактерии *A. globiformis* (табл.).

Таблица

Морфометрические показатели растений табака Самсун и трансгенной линии Cod 38 при выращивании на контрольном фоне и засоленной почве

Показатели	Самсун	Cod 38
Контрольный фон		
Высота растения, см	102,5±30,3	136,7±38,3
Высота растения, включая длину флагового листа, см	185,8±38,1	228,3±42,0
Количество листьев, шт	9,0±2,2	10,7±2,7
Средняя длина листа, мм	112,5±18,9	131,7±22,5
Диаметр стебля на уровне корневой шейки, см	5,4±0,9	6,4±0,9
200 мМ NaCl		
Высота растения, см	20,0±7,1	29,6±17,1
Высота растения, включая длину флагового листа, см	49,4±19,3	65,4±27,3
Количество листьев, шт	6,2±0,8	10,0±2,4
Средняя длина листа, мм	50,4±22,2	46,0±15,1
Диаметр стебля на уровне корневой шейки, см	2,8±0,4	3,2±0,4

У растений обоих генотипов диаметр стебля на уровне корневой шейки при стрессе был в два раза меньше, чем в контроле. Однако, в целом, высота и облиственность растений линии Cod 38 на фоне засоления снизились менее значительно, чем у табака исходного генотипа.

Причина различий между исходным сортом Самсун и линией Cod 38 на засоленной почве по морфометрическим показателям может быть связана с наличием в листьях трансформантов ГБ – продукта гетерологичного гена *codA*. Количественное определение ГБ выявило его содержание в сырой биомассе трансгенной линии Cod 38 на уровне $13,45 \times 10^{-4}\%$, тогда как у растений дикого типа в обычных условиях ГБ не был обнаружен. При выращивании табака на засоленной почве, содержание ГБ составило в сырой биомассе Самсуна $19,94 \times 10^{-4}\%$, а трансформанта по гену ГБ – $10,81 \times 10^{-4}\%$. Следовательно, повышение адаптивности трансгенной линии табака к солевому стрессу нельзя однозначно объяснить накоплением ГБ в результате функциональной активности трансгена *codA*, поскольку в таком незначительном количестве ГБ вряд ли мог играть роль осмопротектора, но, возможно, в растениях, не подвергнутых стрессу, ГБ обладал иной функциональной активностью.

Известно, что в ходе адаптации к стрессовым условиям у растений возрастает степень мобилизации потенциального уровня интенсивности различных процессов, в том числе и фотосинтеза [8]. В условиях засоления почвы у растений происходят значительные изменения в структурной и функциональной организации хлоропластов, изменяется уровень накопления фотосинтетических пигментов, что, в свою очередь, приводит к изменению интенсивности фотосинтеза.

Результаты, полученные при изучении влияния засоления на содержание у растений хлорофилла, достаточно противоречивы. По мнению некоторых авторов, содержание хлорофилла у растений при засолении почвы снижается [9, 10].

Согласно другим данным, уровень хлорофилла в условиях засоленной почвы, напротив, может повышаться или оставаться без изменения [11, 12].

Содержание хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов в листьях табака, выращенного на засоленной почве, существенно превышало содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений из обычных условий (рис. 2).

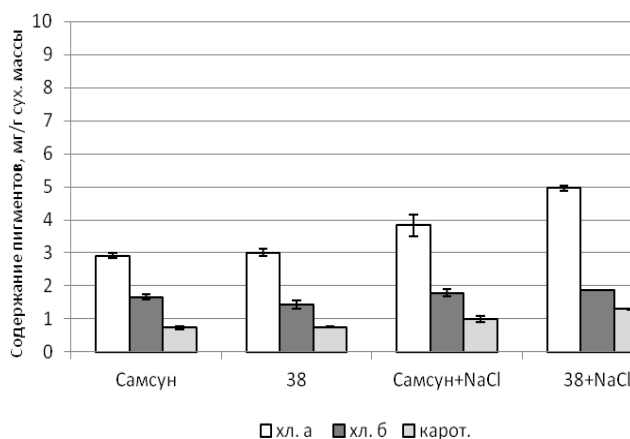


Рис. 2. Содержание пластидных пигментов в листьях табака исходного сорта Самсун и линии Cod 38 (38) в контроле и при солевом стрессе (NaCl)

Накопление пластидных пигментов в листьях табака линии Cod 38 значительно ($p \geq 0,05$) превышало аналогичные показатели в листьях растений исходного сорта. Повышенное содержание хлорофилла в условиях засоления связывают с накоплением продуктов окисления углеводов – кислот цикла Кребса и гидролиза белков (глицин, пролин и др.), необходимых для синтеза этих пигментов. Накоплению этих соединений в растениях линии Cod 38, возможно, опосредованно способствовала экспрессия бактериального гена. Сообщалось, что ГБ может индуцировать синтез пролина [13]. Активировать биосинтез хлорофилла в условиях повышенного засоления могут также натриевые комплексы кадаверина и путресцина [8], в метаболизме которых роль ГБ пока неизвестна.

Утверждать, что растения табака с гетерологичным геном из *A. globiformis* испытывают стресс в условиях засоления в меньшей степени, чем растения дикого типа, позволяют также результаты определения интенсивности перекисного окисления липидов. В листьях трансформированных растений, выращенных на засоленной почве, накопление малонового диальдегида – продукта деструкции мембранных липидов – во все сроки определения было существенно ниже, чем у исходного сорта Самсун (рис. 3)

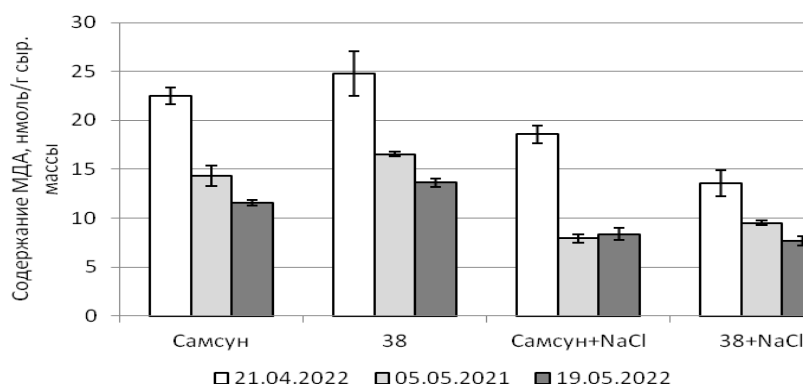


Рис. 3. Динамика перекисного окисления липидов в листьях табака исходного сорта Самсун и линии Cod 38 (38) в контроле и при солевом стрессе (NaCl)

Таким образом, трансформация табака бактериальным геном *codA* и последующее накопление ГБ, в результате функциональной активности гетерологичного гена, даже в незначительном количестве, обеспечивает положительные эффекты при выращивании растений в условиях солевого стресса, обусловленного 200 мМ NaCl. Это расширяет спектр возможных биотехнологических подходов в решении все усугубляющейся проблемы засоления почв.

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. Изменчивость штаммов *Sinorhizobium meliloti* по признакам, определяющим сапрофитную выживаемость и симбиотическую эффективность в условиях засоления / П. Онищук, М. Л. Румянцев, Н. А. Проворов, Б. В. Симаров // Сельскохозяйственная биология. 2009. № 1. С. 77–82.
2. Egamberdieva D., Kucharova Z. Selection for root colonising bacteria stimulating wheat growth in saline soils // Biology and fertility of soils. 2009. Vol. 45. No. 6. P. 563–571.
3. Saharan B., Nehra V. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review // Life Science and Medical Research. 2011. No. 21. P. 1–30.
4. Характеристика микрофлоры засоленных почв Армении / С. К. Келешян, Ж. В. Карапетян, А. Г. Топлакалян, Г. Е. Аветисова, О. М. Лусине, Т. К. Ваге // Биотехнологические и микробиологические аспекты. 2019. № 1. С. 76–85. doi:10.36107/spfp.2019.81
5. Chen T. H., Murata N. Glycinebetaine protects plants against abiotic stress: mechanisms and bio-technological applications // Plant Cell and Environment. 2011. No. 34. P. 1–20. doi:10.1111/j.1365-3040.2010.02232.x

6. Влияние солевого стресса на растения *Nicotiana tabacum* L. дикого типа и трансформированных геном холиноксидазы (codA) / И. Г. Широких, С. Ю. Огородникова, Я. И. Назарова, О. Н. Шуплецова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Vol. 183. No. 1. P. 86–94. doi: 10.30901/2227-8834-2022-1-86-94
7. Murashige T., Skoog F. A. Revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiologia Plantarum*. 1962. No. 15. P. 473–497. doi:10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
8. Влияние засоления на показатели фотосинтетической активности растений / С. А. Кузнецова, Д. А. Климачев, С. Н. Карташов, В. Т. Старикова // Географическая среда и живые системы. 2014. № 1. С. 63–68.
9. Удовенко Г. В. Устойчивость растений к абиотическим стрессам. Физиологические основы селекции растений. СПб. : ВИР, 1995. С. 293–346.
10. Кахнович Л. В., Дорошевич А. А. Влияние хлоридного засоления на фотосинтетический аппарат и биохимический состав клубней картофеля // Физиологические и биохимические основы солеустойчивости растений : тезисы докладов IV Всесоюзного симпозиума. Ташкент, 1986. С. 17–19.
11. Оценка морфологических и биохимических параметров устойчивости различных генотипов пшеницы к хлоридному засолению / Н. В. Кононенко, Т. А. Диловарова, Р. В. Канавский, С. В. Лебедев, Е. Н. Баранова, Л. И. Федореева // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 1. С. 18–39. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39
12. Канавский Р. В. Влияние хлоридного засоления на проростки яровой пшеницы // Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии : материалы 19-ой Всерос. конф. молодых ученых. 2019. С. 16–17.
13. The over-accumulation of glycine betaine in wheat weakens the harmful effects of salt stress / K. Liang, S. Ya. Zhang, I. Luo, G. P. Wang, Z. Zuo, W. Wang // *Fiziologiya rasteniy. Russian Journal of Plant Physiology*. 2009. Vol. 56. No. 3. P. 410–417. [in Russian] (Сверхнакопление глицинбетаина у пшеницы ослабляет вредное действие солевого стресса / К. Лян, С. Я. Чжан, Ло И., Г.П. Ван, Ц. Цзо, В. Ван // Физиология растений. 2009. Т. 56. № 3. С. 410–417).

АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ АКТИНОБАКТЕРИЙ В СВЯЗИ С ПРАКТИКОЙ УДОБРЕНИЯ ПОЧВЫ КУРИНЫМ ПОМЕТОМ

И. Г. Широких^{1,3}, Н. Е. Завьялова², Н. А. Боков³, Т. Я. Ашихмина^{1,3}

¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,

² Пермский НИИСХ ФИЦ УрО РАН,

³ Вятский государственный университет, ecolab2@gmail.com

Изучены эффекты воздействия свежего и ферментированного куриного помета на антибиотический резистом почвы. Представлены данные об изменении чувствительности почвенных актинобактерий рода *Streptomyces* к антибиотикам из разных групп, включая тетрациклины, сульфаниламиды, хинолоны, аминогликозиды, линкомицины, рифампицины, цефалоспорины и макролиды. Определены группы антибиотиков, устойчивость к которым в результате внесения в почву компоста на основе куриного помета статистически значимо увеличилась – тетрациклины, рифампицины ($p \leq 0,01$) и хинолоны ($p \leq 0,05$).

Ключевые слова: куриный помет, компост, антибактериальные препараты, *Streptomyces*, резистентность.

Отходы жизнедеятельности сельскохозяйственных животных являются ценным источником питательных веществ и широко используются при возделывании сельскохозяйственных культур. Вместе с тем они представляют собой потенциальный источник распространения в окружающей среде генов устойчивости к антибиотикам (antibiotic resistance genes – ARG), поскольку антибактериальные препараты используются для лечения или профилактики заболеваний у 60–80% поголовья [1, 2]. В работе [3] сообщалось, что применение птичьего помета в качестве органического удобрения сопровождалось более частыми проявлениями в почвенной микрофлоре генов устойчивости к тетрациклину и b-лактаму. ARG обнаружены в почве также при складировании и хранении свиного навоза [4]. Концентрации ARG к сульфаниламидам, стрептомицину и тетрациклину увеличивались на три порядка в результате применения птичьего помета и оставались выше фоновых значений в течение пяти месяцев [5].

Несмотря на то, что к настоящему времени накоплено достаточно много сведений о том, что навоз животных является богатым резервуаром ARG, наши знания о распределении и антибиотической резистентности разных микроорганизмов в почвах с внесением органических отходов животноводства, в частности, куриного помета, остаются пока ограниченными.

Цель работы – сравнить антибиотические резистомы различных субстратов, связанных с приготовлением и использованием компоста на основе куриного помета в качестве удобрения.

В качестве модельной группы микроорганизмов для выявления изменений антибиотического резистома использовали природные изоляты актинобактерий рода *Streptomyces* – типичных грамположительных почвенных прокарриот. Образцы для выделения чистых культур представляли собой: 1) интактную почву, 2) почву, отобранную под буртом компоста, 3) компост на основе куриного помета, 4) почву после внесения компоста. Из каждого образца при микробиологическом посеве на казеин-глицериновый агар, было выделено не менее 15 штаммов с типичными для рода *Streptomyces* культуральными и морфологическими признаками.

Для определения чувствительности выделенных культур к антибиотикам использовали диски индикаторные ДИ-ПЛС-50-01 по ТУ 9398-001-39484474-2000 (НИЦФ, Россия, СПб) с антибиотиками в следующих концентрациях: 30 мкг канамицин, 20 мкг амоксициллин (АКЦ); 30 мкг налидиксовая кислота (НК); 1,25/23,75 мкг триметоприм/сульфаметоксазол (ТС); 30 мкг тетрациклин (ТЕТ); 300 мкг стрептомицин (СТР), 5 мкг рифампицин (РФМ); 300 ЕД полимиксин (ПМ); 15 мкг линкомицин (ЛИН), 15 мкг азитромицин (АРН), 30 мкг цефтриаксон (ЦРО). Определяли долю резистентных к каждому антибиотику штаммов в выборках равного объема, полученных из разных субстратов. Обработку результатов количественного определения ингибиро-

вания осуществляли методами непараметрической статистики с помощью онлайн-калькулятора статистики Statistics Kingdom [<http://www.statskingdom.com>]. Для попарного сравнения вариантов использовали U-критерий Манна-Уитни.

Практически все изоляты стрептомицетов, выделенные из интактной почвы, проявляли устойчивость по крайней мере к одному из тест-препаратов, но большая часть изолятов – одновременно к 3–5 препаратам, устойчивость к максимальному количеству антибиотиков (8 препаратов) проявил лишь один штамм. В разрезе отдельных групп антибиотиков наибольшая доля изолятов была устойчива к сульфаниламидам (84,6%) и хинолонам (76,9%) (рис., А). Изолятов, резистентных к аминогликозидам первого поколения (КАН и СТР), в интактной почве не обнаружено. В среднем доля устойчивых к использованным антибиотикам культур составила в резистоме интактной почвы 35%.

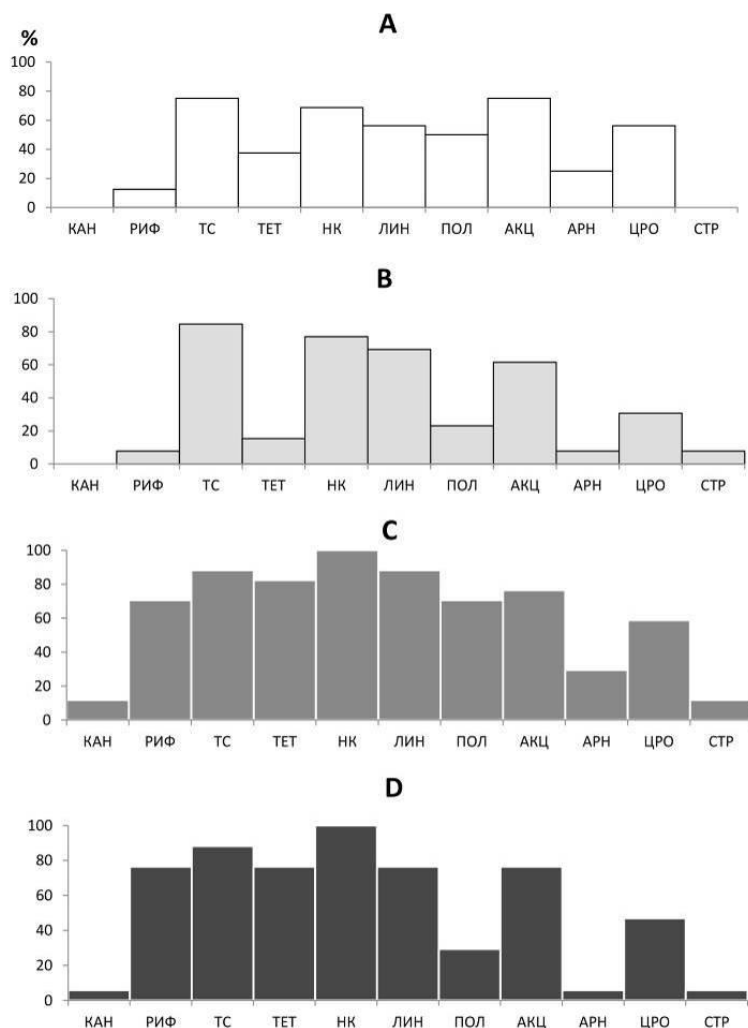


Рис. Антибиотикограммы актинобактерий из разных субстратов:
 А – интактная почва, В – почва, отобранная под буртом компоста,
 С – компост на основе куриного помета, Д – почва после внесения компоста
 (последствие)

Антибиотический резистом в образце почвы, отобранном под буртом с куриным пометом, ферментируемым в компост, изменился по сравнению с исходной почвой в слабой степени (рис., В). Так, средняя доля устойчивых к антибиотикам изолятов возросла до 41,5%, в выборке появились устойчивые к стрептомицину бактерии (7,7%), что может быть обусловлено просачиванием сквозь субстрат воды, обогащенной бактериями, резистентными к антимикробным препаратам, с последующим горизонтальным переносом ARG в клетки аборигенной микрофлоры.

Исследование резистентности актинобактерий, ассоциированных с самим компостом, выявило более существенные отличия от резистома, описанного для интактной почвы (рис., С).

Устойчивость к антибактериальным препаратам в выборке изолятов из компоста составила в среднем 61,5%. Сравнение субстратов по содержанию изолятов с устойчивостью к отдельным антибиотикам с помощью метода непараметрической статистики показало, что доля устойчивых к РИФ, ТЕТ и НК форм в компосте из куриного компоста статистически значимо выше, чем в интактной почве. Эмпирические значения U-критерия Манна-Уитни ($U_{\text{эмп}}$) составили для РИФ, ТЕТ и НК 47, 65 и 87,5 соответственно, при критических значениях U ($U_{\text{кр}}$), равных соответственно 71, 71 ($p \geq 0,01$) и 89 ($p \geq 0,05$).

Достоверная разница по количественной устойчивости актинобактерий к некоторым из испытанных антибиотиков была также обнаружена в почве с внесением компоста, где доля устойчивых изолятов составила по выборке в среднем 53,5% (рис., D). Статистически значимое, по сравнению с резистомом интактной почвы, увеличение устойчивости актинобактерий отмечено в отношении ТЕТ ($U_{\text{эмп}} = 53,5$; $p \geq 0,01$), РИФ ($U_{\text{эмп}} = 62$; $p \geq 0,01$) и НК ($U_{\text{эмп}} = 76,5$; $p \geq 0,05$).

Таким образом, полученные результаты указывают на то, что куриный помет, даже подвергнутый компостированию, продолжает оставаться источником распространения в окружающей среде ARG, в особенности, детерминирующих резистентность к антибактериальным препаратам из групп тетрациклинов, рифампицина и хинолонов. Хотя органические удобрения для повышения плодородия почвы считаются экологически более приемлемыми по сравнению с химическими удобрениями, их внесение может способствовать накоплению устойчивых к антибиотикам бактерий в почве, создавая экологический резервуар устойчивости к противомикробным препаратам с потенциальными рисками для здоровья человека и окружающей среды.

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. Accumulation of sulfonamide resistance genes in arable soils due to repeated application of manure containing sulfadiazine / H. Heuer, Q. Solehati, U. Zimmerling, K. Kleineidam,

M. Schloter, T. Müller, A. Focks, S. Thiele-Bruhn, K. Smalla // Appl. Environ. Microbiol. 2011. Vol. 77. P. 2527–2530. doi: 10.1128/AEM.02577-10

2. Increased abundance and transferability of resistance genes after field application of manure from sulfadiazine-treated pigs / S. Jechalke, C. Kopmann, I. Rosendahl, J. Groeneweg, V. Weichelt, E. Krögerrecklenfort, N. Brandes, M. Nordwig, G.C. Ding, J. Siemens, H. Heuer, K. Smalla // Appl. Environ. Microbiol. 2013. Vol. 79. P.1704–1711. doi: 10.1128/AEM.03172-1

3. Characterization of antibiotic-resistant and potentially pathogenic *Escherichia coli* from soil fertilized with litter of broiler chickens fed antimicrobial-supplemented diets / L. E. Merchant, H. Rempel, T. Forge, T. Kannangara, S. Bittman, P. Delaquis, E. Topp, K. A. Ziebell, M. S. Diarra // Can. J. Microbiol. 2012. Vol. 58. P. 1084–1098. doi: 10.1139/w2012-082

4. Fate of antimicrobial resistant enterococci and staphylococci and resistance determinants in stored poultry litter / J. P. Graham, S. L. Evans, L. B. Price, E. Silbergeld // Environ. Res. 2009. Vol. 109. P. 682–689. doi: 10.1016/j.envres.2009.05.005

5. Cook K. L., Netthisinghe A. M. P., Gilfillen R. A. Detection of pathogens, indicators, and antibiotic resistance genes after land application of poultry litter // Journal of Environmental Quality. 2014. Vol. 43. No. 5. P. 1546–1558. doi: 10.2134/jeq2013.10.0432

ОЦЕНКА ФИТОРЕГУЛЯТОРНОЙ АКТИВНОСТИ СТРЕПТОМИЦЕТОВ-ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИКОВ

Н. А. Боков^{1,2}, И. Г. Широких^{1,2}

¹ Вятский государственный университет, nikita-bokov@mail.ru

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

Оценили фиторегуляторное действие штаммов *Streptomyces griseoaurantiacus* Мб 4-2 и *S. thermocarboxydus* 1.3 по отношению к тест-культуре *Triticum aestivum* L. Установили, что оба штамма-целлюлозолитика не проявляют фитотоксического эффекта при обработке семян пшеницы нативным препаратом. Был обнаружен достоверный ($p \geq 0,05$) фитостимулирующий эффект при обработке семян пшеницы штаммами Мб 4-2 и 1.3. Наибольшая длина корня была при обработке штаммом Мб 4-2 в разведении 1 : 100 в жидкой культуре, а высота побега и сухая масса проростков – при обработке этим же штаммом, но без разведения; на всхожесть семян пшеницы штаммы стрептомицетов не влияли.

Ключевые слова: стрептомицеты, фитотоксичность, фитолегуляторное действие, фитостимуляция.

Сельское хозяйство нуждается в почвоулучшающих препаратах, способных препятствовать деградации пахотных земель. Стрептомицеты вносят свой вклад в поддержание здоровья почвы не только как антагонисты патогенов и активные продуценты антибиотиков, но и, участвуя в различных процессах, таких как круговорот углерода, азота и фосфора, разложение растительных и животных остатков, что способствует повышению обеспеченности растений элементами питания и формированию гумусности и структуры поч-

вы. На данный момент почвоулучшающих коммерческих препаратов микробного происхождения на рынке недостаточно, но ведутся активные лабораторные изыскания в данной области [1–3]. Данные препараты обычно состоят из микроорганизмов-целлюлозолитиков. При создании таких препаратов на основе стрептомицетов нельзя не учитывать их возможные фитотоксические эффекты, так как многие стрептомицеты производят вторичные метаболиты, подавляющие не только рост патогенов, но и рост растений [4–6].

Исследуемые нами штаммы стрептомицетов-целлюлозолитиков ранее продемонстрировали быстрый выход на пик своей целлюлазной активности, что способствует скорейшей минерализации и гумификации корневых и пожнивных остатков и благоприятно сказывается на балансе органического вещества и фитосанитарном состоянии почвы [7]. Чтобы исключить возможное негативное действие штаммов при их практическом использовании в агроценозах, оценивали их фитотоксическое действие.

Объектами исследования служили *Streptomyces griseoaurantiacus* Мб 4-2 и *S. thermocarboxydus* 1.3. Нуклеотидные последовательности гена 16S рРНК (НПК «Синтол» (Москва) занесены в базу данных NCBI под номерами ON164840.1 и ON164813.1 соответственно.

Штаммы предварительно наращивали в колбах объемом 250 мл, объем среды на колбу составлял 50 мл, для культивирования использовали жидкую питательную среду Гаузе 1 (г/л): K_2HPO_4 – 2; NaCl – 0,5; KNO_3 – 1,00; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,01; крахмал – 20 [8], культивировали штаммы в течение 5 суток при 28 °С стационарно.

В качестве тест-культуры использовали пшеницу мягкую (*Triticum aestivum* L.) сорта Приокская. Сорт включен в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений РФ и допущен к использованию по Северо-Западному, Центральному и Волго-Вятскому региону.

Семена пшеницы замачивали на 24 часа в жидких культурах (ЖК) стрептомицетов в разведениях 1 : 10 и 1 : 100, а также в ЖК без разведения. В качестве контроля использовали семена, замоченные в дистиллированной воде на 24 часа. Обработанные семена проращивали в течение 7 суток при комнатной температуре 20 °С в рулонной культуре. Учитывали всхожесть, длину корня, высоту побега и сухую биомассу проростков. Каждый вариант опыта закладывали в 4-х повторениях по 25 семян в каждом.

Для определения способности культур продуцировать индолил-3-уксусной кислоты (ИУК), была приготовлена жидкая питательная среда (г/л): K_2HPO_4 – 0,50; NaCl – 0,10; $CaCl_2$ – 0,02; $MgSO_4$ – 0,20; $FeCl_3$ – 0,01; Na_2MoO_4 – 0,002; глюкоза – 2,00; сахароза – 2,00; пептон – 1,00; дрожжевой экстракт – 1,00; триптофан – 0,20 [9].

Культуры стрептомицетов выращивали на качалке в течение 5 суток, при комнатной температуре, после чего из каждой колбы пипеткой отобрали по 5 мл ЖК и центрифугировали 10 мин при 6000 об./мин для осаждения клеток и получения культуральной жидкости (КЖ). КЖ и реактив Сальковского смешивали в соотношении 1 : 2. Оставили на 30 мин в термостате при 37 °С

для развития окрашивания, после чего измеряли содержание ИУК спектрофотометрически при 540 нм. Контролем служила питательная среда, на которой выращивали бактерии [10].

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

Оценка фитотоксического действия штаммов *S. thermocarboxydus* 1.3. и *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 в отношении пшеницы яровой показала, что наибольшая длина корня и побега была при обработке штаммов Мб 4-2 без разведения. По отношению к контролю длина проростков составляла 155%, а длина побега 231% (рис.). Не один из исследуемых штаммов не проявил фитотоксический эффект.

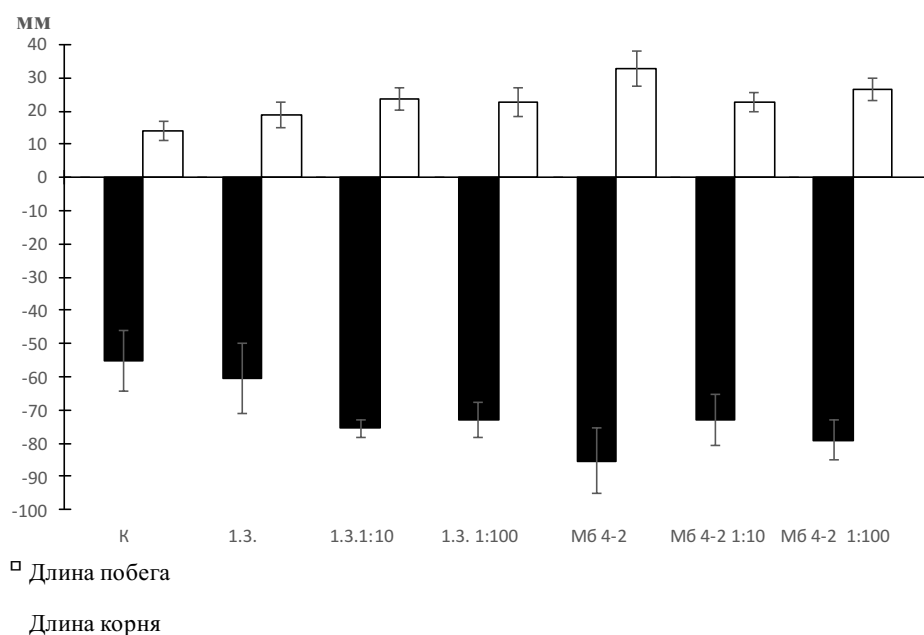


Рис. Линейные показатели роста проростков пшеницы Приокская в зависимости от обработки *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 (Мб 4-2) и *S. thermocarboxydus* 1.3. (1.3.), а также их разведениями (ЖК Мб 4-2 1 : 100, ЖК 1.3. 1 : 100), семена не подвергались обработке (К)

Оценка влияния стрептомицетов на биомассу проростков показала, что наибольший сухой вес проростков ($0,22 \pm 0,02$ г) был при обработке штаммом Мб 4-2 без разведения, что в 1,57 раза больше, чем в контроле. На всхожесть семян пшеницы препараты стрептомицетов влияли незначительно. При обработке штаммом 1.3. в разведении 1 : 10 всхожесть была на 10% выше, чем в контроле (табл.).

В целом установлено, что штаммы *S. thermocarboxydus* 1.3. и *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2. не проявляют фитотоксического эффекта, даже при обработке семян пшеницы нативным неразбавленным препаратом. Так же можно отметить фитостимулирующий эффект при обработке семян штаммами исследуемых стрептомицетов-целлюлозолитиков, особенно сильно он проявлялся при обработке препаратом на основе штамма Мб 4-2 без разведения. При его применении длина корня была в 1,55 раза, длина побега –

в 2,3 раза, накопление биомассы в 1,57 раза больше, чем в контроле, который ничем не обрабатывался.

Таблица

Влияние штаммов стрептомицетов на уровень накопления биомассы, всхожесть пшеницы и уровень продукции ИУК

Вариант	Всхожесть,		Биомасса,		ИУК, мкг/мл
	%	% от К	г	% от К	
Контроль (К)	86±2,31	—	0,14±0,03	—	—
<i>S. thermocarboxydus</i> 1.3.	88±5,66	102,33	0,16±0,03	114,29	27,9
<i>S. thermocarboxydus</i> 1.3. 1 : 10	95±2,0	110,47	0,20±0,02	142,86	
<i>S. thermocarboxydus</i> 1.3. 1 : 100	91±2,0	105,81	0,20±0,04	142,86	
<i>S. griseoaurantiacus</i> Мб 4-2	83±3,83	96,51	0,22±0,02	157,14	58,5
<i>S. griseoaurantiacus</i> Мб 4-2 1 : 10	88±3,27	102,33	0,19±0,03	135,71	
<i>S. griseoaurantiacus</i> Мб 4-2 1 : 100	87±5,03	101,16	0,21±0,02	150,00	

Известно, что многие стрептомицеты активно продуцируют ИУК [11–13]. Исследуемые нами штаммы Мб 4-2 и 1.3. также показали свою способность к продукции ИУК. После наращивания стрептомицетов в жидкой среде с добавлением триптофана, в качестве предшественника ауксинов, концентрация ИУК составила 58,5 и 27,9 мкг/мл для культур *S. griseoaurantiacus* Мб 4-2 и *S. thermocarboxydus* 1.3. соответственно (табл.).

Штамм Мб 4-2 производил ИУК в большей концентрации и проявил более выраженный ростстимулирующий эффект, чем штамм 1.3. Таким образом, установлена прямая связь между интенсивностью синтеза ИУК культурой стрептомицета и выраженностью его фитостимулирующего действия.

Резюмируя можно отметить, что использование данных штаммов стрептомицетов возможно как для улучшения плодородия почвы, так и стимуляции роста растений. Фитостимулирующий эффект, который проявили исследованные штаммы, благодаря синтезу ИУК, может суммироваться с эффектом улучшения качества почвы за счет разрушения лигноцеллюлозных растительных остатков, что, в перспективе, обеспечит высокие показатели урожайности для различных сельскохозяйственных культур.

Библиографический список

1. Bhatti A. A., Haq S., Bhat R. A. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health // Microb. Pathog. 2017. Vol. 111. P. 458–467. doi: 10.1016/j.micpath.2017.09.036
2. Exploring the potential of actinomycetes in improving soil fertility and grain quality of economically important cereals / W. N. Hozzein, W. Abuelsoud, M. A. M. Wadaan A. M. Shuika // Sci. Total. Environ. 2019. Vol. 15, No. 651. P. 2787–2798. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.048
3. Exploring plant growth-promotion actinomycetes from vermicompost and rhizosphere soil for yield enhancement in chickpea / M. Sreevidya, M. Gopalakrishnan, S. Kudapa R. K. Varshney // Braz. J. Microbiol. 2016. Vol. 47. P. 85–95. doi: 10.1016/j.bjm.2015.11.030
4. Широких И. Г., Комлева А. В. Выделение и характеристика нового штамма стрептомицета-продуцента боррелидина // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Киров : Вятский государственный университет. 2022. Кн. 2. С. 10–15.

5. Куликова Н. А. Получение и масштабы применения гербицидов: история и современные тенденции // Проблемы агрохимии и экологии. 2020. № 2. С. 52–68.
6. Поиск стрептомицетов-целлюлозолитиков для переработки отходов растениеводства / И. Г. Широких, Я. И. Назарова, А. А. Широких, Е. В. Товстик, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 162–168. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-162-168
7. Боков Н. А., Назарова Я. И., Широких И. Г. Изменение целлюлазной активности стрептомицетов в зависимости от продолжительности культивирования // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Киров : Вятский государственный университет. 2022. Кн. 2. С. 15–19.
8. Нетрусов А. И., Егоров М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М. : Академия, 2005. 608 с.
9. Мерзаева О. В., Широких И. Г. Образование ауксинов эндофитными актинобактериями озимой ржи // Прикладная биохимия и микробиология. 2010. Т. 46. № 1. С. 51–57.
10. Libbert E., Risch H. Interactions between plants and epiphytic bacteria regarding their auxin metabolism // *Physiol. Plantarum*. 1969. Vol. 22. P. 51–58.
11. Biosynthesis of indole-3-acetic acid via the indole-3-acetamide pathway in *Streptomyces* spp. / S. Manulis, H. Shafir, E. Epstein, A. Lichter // *Microbiology (Reading)*. 1994. Vol. 140. No. 5. P. 1045–1050.
12. Кочкина В. А., Назарова Я. И., Широких И. Г. Изучение биосинтетического потенциала почвенных стрептомицетов // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 кн. Киров : Вятский государственный университет. 2018. Кн. 2. С. 66–69.
13. Идентификация и изучение свойств *Streptomyces geldanamycininus* 3K9, выделенного из почвы под зарослями борщевика Сосновского / Е. В. Товстик, А. В. Сазанов, А. В. Бакулина, И. Г. Широких // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 53–60.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬГОЦИАНОФЛОРЫ НА ТЕХНОГЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Л. В. Кондакова^{1, 2}, Е. В. Дабах^{1, 2}

¹ Вятский государственный университет, ecolab2@gmail.com

² Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

Представлены результаты мониторинга высшей растительности и альгоцианофлоры на территории рекультивируемого хранилища жидких отходов. Исходная неоднородность субстрата площадок и растительности обуславливает различия видового состава микрофототрофов. Доминантами сообществ являются цианобактерии – организмы, завершающие сезонную сукцессию микрофототрофов и являющиеся толерантными к негативным факторам среды. Состав доминирующих видов альгофлоры зависит от всей совокупности факторов почвообразования, однако можно выделить ведущий фактор (факторы), обуславливающий ее видовой состав.

Ключевые слова: альгоцианофлора, хранилище жидких отходов, доминирующие виды.

Почвенные фототрофные микроорганизмы являются объектами, которые можно использовать в целях биомониторинга и биоремедиации окружающей среды. Водоросли и ЦБ обеспечивают начальные этапы формирования почв на участках, вновь образовавшихся в результате естественных природных явлений и на территориях антропогенного происхождения. [1–3]. Состав водорослей и ЦБ в почвах зависит от типа почвы и от растительности, имеет значение степень проективного покрытия растений, морфологические и биохимические характеристики растений-доминантов. Снижение видового разнообразия микрофототрофов и изменение таксономической структуры сообществ по сравнению с природным аналогом – показатели загрязнения почвы.

Цель работы – выявить особенности формирования альгоцианофлоры в почвах на разных по составу и свойствам субстратах, использованных для засыпки хранилища жидких отходов химического производства.

Изучаемая территория расположена в долине реки Вятки на северо-востоке Европейской территории России в подзоне дерново-подзолистых почв южной тайги в окрестностях г. Кирово-Чепецка (Кировская область). На окраине города сосредоточено несколько предприятий химической промышленности и расположены хвостохранилища твердых и жидких отходов. Одно из хранилищ жидких отходов было ликвидировано в 2012 г., территория была засыпана грунтом и твердыми отходами производства: песком, глиной, гипсом, известью.

Объектом исследования были почвенные пробы, отобранные с 5 площадок мониторинга. Почвы на площадках мониторинга отличались по гранулометрическому составу: на 1-й площадке субстрат был представлен песком с примесью гальки, на 2-й – суглинком, на 3-й щебнисто-суглинистым карбонатным материалом, на 4-й – гипсовой коркой. 5-я площадка покрыта песком, находится в понижении рельефа, испытывает переувлажнение и застой вод. В почвах определялись следующие показатели – pH в водной и солевой вытяжках, обменный аммоний, нитратный азот, органическое вещество, подвижные соединения фосфора и калия по общепринятым методикам.

Отбор почвенных проб для альгологического анализа осуществлялся в 2019–2022 гг. Пробы отбирались с глубины 0–5 см, средняя проба составлялась из пяти индивидуальных проб. Видовой состав водорослей и ЦБ определяли методом прямого микроскопирования почвы, постановкой чашечных культур со стеклами обрастания и водных культур [5]. Идентификация водорослей и цианобактерий (ЦБ) проводилась по сериям отечественных и зарубежных определителей. Названия видов приведены в соответствии с международной номенклатурой.

Почвы на площадках мониторинга отличаются от окружающих луговых почв нейтральной и щелочной реакцией, наиболее низкие значения pH (6,2) отмечаются в солевой вытяжке из органо-минерального слоя на площадке 5, характеризующейся избыточным увлажнением (табл. 1). Содержание органического вещества в почвах невысокое, за исключением 3-й и 5-й площадок. Так как почвенный покров формируется на засыпанной выровненной поверх-

ности котлована, на почвообразование оказывают влияние близко залегающие к поверхности загрязненные подземные воды, в составе которых отмечались повышенные концентрации ионов азотной группы, стронция, натрия, магния, марганца, брома [5]. На 3-й площадке выявлены повышенные концентрации нитратного азота (510 мг/кг) и стронция (1150 мг/кг). В корнеобитаемом слое на 4-й площадке содержание стронция (379 мг/кг) также более чем в 2 раза превышает фоновые показатели (118 мг/кг), на 5-й площадке – оно составляет 190 мг/кг. В почве на 2-й площадке, отличающейся более тяжёлым гранулометрическим составом, выявлено превышающее ОДК содержание мышьяка (10,1 мг/кг), отмечены повышенные по сравнению с региональным фоном, но не превышающие ПДК (ОДК) концентрации меди, цинка, никеля [6].

В 2022 г. фитоценоз на каждой площадке сохранял свои особенности: на 1-й площадке, как и в прошлые годы, доминировал вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.), однако в составе доминантов отмечен и бедренец - камнеломка (*Pimpinella saxifraga* L.). На 2-й и 3-й площадках доминирует пырей ползучий (*Agropyron repens* Beauv.), на 4-й – *C. epigeios*, на 5-й – тростник обыкновенный (*Phragmites communis* Trin.). Если на 3-й площадке сформировалась устойчивая моноассоциация пырея ползучего, то на 2 площадке в составе доминантов отметили пырей ползучий и чину луговую (*Lathyrus pratensis* L.). Тростник обыкновенный на 5-ой площадке также сформировал моноассоциацию, которая наблюдается в течение 3-х лет (табл. 1).

За период наблюдений на участках мониторинга выявлен 71 вид почвенных микрофототрофов, в том числе: Cyanobacteria – 32; Chlorophyta – 20; Xanthophyta – 6; Eustigmatophyta – 3; Bacillariophyta – 10 (табл. 2). По видовому разнообразию преобладают ЦБ, составляя по годам наблюдений разное число видов: 15–16 в 2019–2020 гг. и 30–23 в 2021–2022 гг. (44–47% от видового разнообразия). ЦБ и водоросли обеспечивают начальные этапы формирования почв при зарастании отвалов, при этом ведущая роль в этом процессе принадлежит ЦБ.

Альгофлора представителей отдела Chlorophyta составляла 26–33% видового разнообразия. Согласно зональному распределению альгофлоры зелёные водоросли в природных экосистемах лесной зоны по числу видов являются преобладающими. В антропогенных экосистемах они проявляют устойчивость к подкислению почвы, загрязнению её тяжелыми металлами, нефтью, некоторыми нефтепродуктами, поверхностно-активными веществами [7].

Отмечено мало видов жёлтозелёных (8,4%) и эустигматофитовых водорослей (4,2%), чувствительных к техногенному загрязнению.

Таблица 1

Свойства почв, виды растений и альгофлоры, доминирующие на площадках мониторинга в 2022 году

№ участка	Субстрат	Глубина, см	pHвод.	pHсол.	C, %	N-NH ₄ ⁺ , мг/кг	N-NO ₃ ⁻ , мг/кг	Доминирующие виды растений	Доминирующие виды альгофлоры
1	Супесь	0–5	7,9±0,1	7,5±0,1	0,81±0,16	0,90±0,14	1,30±0,39	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth. <i>Pimpinella saxifraga</i> L.	<i>Leptolyngbya foveolarum</i> , <i>L. angustissima</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>N. paludosum</i>
		5–10	8,1±0,1	7,9±0,1	0,36±0,07	1,50±0,23	2,3±0,7		
2	Красновато-бурый суглинок	0–5	7,2±0,1	7,7±0,1	1,65±0,33	2,10±0,32	5,4±3,0	<i>Agropyron repens</i> Beauv. <i>Lathyrus pratensis</i> L.	<i>Leptolyngbya angustissima</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Navicula pelliculosa</i>
		5–10	8,0±0,1	7,4±0,1	0,68±0,14	1,80±0,27	4,7±1,4		
3	Супесь, подстилаемая карбонатным суглинком	0–5	7,3±0,1	7,4±0,1	4,6±0,7	5,1±0,8	260±50	<i>Agropyron repens</i> Beauv.	<i>Hantzschia amphioxys</i> , <i>Luticola mutica</i> , <i>Phormidium autumnale</i>
		10–15	8,1±0,1	8,3±0,1	0,79±0,16				
		20–25	8,2±0,1	8,5±0,1	0,81±0,16	1,50±0,23	510±100		
4	Гипсовая корка	0–5	7,4±0,1	7,3±0,1	1,56±0,31	1,80±0,27	6,6±2,0	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	<i>Phormidium autumnale</i> , <i>Nostoc punctiforme</i> , <i>N. paludosum</i> , <i>Klebsor- midium flaccidum</i>
5.	Супесь	2–10	6,7±0,1	6,2±0,1	2,84±0,1	12,4±0,1	10,2±0,1	<i>Phragmites communis</i> Trin.	<i>Nitzschia palea</i> , <i>Phor- midium uncinatum</i> , <i>Ph. inundatum</i>
		20–25	7,8±0,1	7,4±0,1	0,28±0,1	2,0±0,1	1,7±0,1		

Наибольшее число видов отмечено на площадке № 1 на бедном по составу супесчаном субстрате – 49 видов. Заселение данной территории идет постепенно, за период наблюдений число видов увеличилось более чем в два раза. По числу видов преобладают ЦБ (47%). Из гетероцистных ЦБ отмечены 5 видов, 17 видов – безгетероцистные ЦБ, в основном представители родов *Phormidium* и *Leptolyngbya*.

На площадке № 2 за период наблюдений разнообразие видов альгофлоры сначала несколько возросло с 18 видов до 23, а затем уменьшилось до 10. Вероятно, это связано с развитием плотной злаковой ассоциации (*Calamagrostis epigeios*, *Agropyron repens*), оказавшей влияние на условия светового режима и влажности. Доминантами альгофлоры в 2022 – *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia palea* и *Navicula pelliculosa* (табл. 1).

Таблица 2

**Количество видов водорослей и ЦБ на площадках мониторинга
в 2019–2022 гг.**

Отделы	Год	Количество видов						
		№ площадки мониторинга					Всего видов	
		1	2	3	4	5	Ед.	%
Cyanobacteria	2019	12	7	8	4	–	16	44
	2020	11	12	3	4	–	15	48
	2021	15	4	1	2	14	30	47
	2022	14	6	9	9	11	23	43
Chlorophyta	2019	3	6	11	5	–	12	33
	2020	5	5	5	3	–	9	29
	2021	9	3	4	10	4	18	28
	2022	6	4	4	8	6	14	26
Xanthophyta+Eystigmatophyta	2019	0	1	2	0	–	3	8
	2020	1	1	0	0	–	2	6
	2021	4	0	0	0	3	8	12
	2022	1	4	5	3	1	7	13
Bacillariophyta	2019	2	4	2	0	–	5	13
	2020	4	5	1	0	–	5	16
	2021	4	3	2	0	6	7	11
	2022	3	4	3	0	8	9	17
Всего видов на участке	2019	17	18	22	9	–	36	100
Всего видов на участке	2020	21	23	9	7	–	31	100
Всего видов на участке	2021	32	10	7	12	27	63	100
Всего видов на участке	2022	24	18	21	20	26	53	100

Примечание: – отсутствие данных.

Плотная дернина, созданная *Agropyron repens*, негативно отразилась на развитии водорослей на площадке № 3, в 2021 г. было выявлено всего 7 видов микрофототрофов, доминировала диатомовая водоросль *Hantzschia amphioxys*. В 2022 г. на площадке сформировалась вторая ассоциация *Lathyrus pratensis* L., под которой видовое разнообразие микрофототрофов увеличилось до 21 вида, а доминантами являлись *Hantzschia amphioxys*, *Luticola mutica*, *Phormidium autumnale*.

На площадке № 4 (гипсовая корка) наблюдается медленное увеличение видового разнообразия микрофототрофов. Видовой состав ЦБ за период наблюдений стабилен, в два раза возросло число видов зеленых водорослей.

На 5 площадке сформировалась плотная ассоциация тростника (*Phragmites communis*). Доминантами сообществ являлись ЦБ, представленные безгетероцистными и гетероцистными формами. Из видов, индикаторов повышенной влажности, были отмечены: *Oscillatoria limosa*, *Gloeocapsa* sp. (ЦБ), *Cosmarium cucumis*, *Microthamnion kuetzingianum* (Chlorophyta), *Nitzschia palea* (Bacillariophyta).

В составе доминирующих видов (табл. 1), как и в составе всей альгофлоры участков, преобладают ЦБ.

Таким образом, на территории хвостохранилища жидких отходов после рекультивации происходит естественное восстановление альгоцианофлоры. Исходная неоднородность субстрата площадок и растительности обуславливает различия видового состава микрофототрофов. По результатам мониторинга выявлены следующие особенности в распространении почвенных водорослей и ЦБ на площадках наблюдений:

- доминантами сообществ на всех площадках являются ЦБ – организмы, завершающие сезонную сукцессию микрофототрофов и являющиеся толерантными к негативным факторам среды;

- состав доминирующих видов альгофлоры зависит от всей совокупности факторов почвообразования, однако можно выделить ведущий фактор, обуславливающий видовой состав микрофототрофов. Например, пониженный рельеф и избыточное увлажнение способствуют развитию на площадке 5 влаголюбивых видов, а плотность дернины является причиной снижения видового разнообразия на площадке 3;

- развитие злаковых ассоциаций на площадках 2 и 3 сопровождается доминированием диатомовых водорослей, использующих кремний, которым богаты растения семейства злаковых;

- четкой закономерной связи между загрязнением грунтов и видовым разнообразием, а также составом альгофлоры не выявлено, что, по-видимому, обусловлено невысоким содержанием загрязняющих веществ в верхнем слое почв (источник загрязнения – подземные воды). Повышенные концентрации биогенных элементов (2ПДК нитратов на площадке 3) благоприятно влияют на развитие высших растений, формируя зависимость почвенной альгофлоры от проективного покрытия растений (света) и химического состава отмирающей растительной массы, а не от загрязненных грунтовых вод.

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. Штина Э. А., Андропова М. Ф. Роль почвенных водорослей в восстановлении нарушенных экосистем тундры // Охрана растительного мира в северных регионах : материалы Всесоюз. совещ. Т. 2. Устойчивость растительности к антропогенным факторам и биорекультивация в условиях Севера. Сыктывкар, 1984. С. 67–70.
2. Зимонина Н. М. Почвенные водоросли нефтезагрязненных земель. Киров, 1998. 170 с.
3. Фазлутдинова А. И., Суханова Н. В., Сафиуллина Л. М. Сравнительный анализ видового состава почвенных диатомовых водорослей разновозрастных отвалов Учалинского горно-обогатительного комбината (Республика Башкортостан) // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге : материалы докладов 4 Всероссий. науч. конф. с междунар. участием. СПб. : «Реноме», 2018. 512 с.
4. Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М. : Наука, 1976.
5. Дабах Е. В. Формирование почв на техногенных отходах после рекультивации // Биохимические инновации в условиях коррекции техногенеза биосферы : труды Междунар. биогеохимического симпозиума, посвященного 125-летию со дня рождения академика А. П. Виноградова и 90-летию Приднестровского ун-та. 2020. Т. 2 С. 71–75.
6. Кондакова Л. В., Дабах Е. В. Мониторинг альго-цианобактериальных сообществ на техногенной территории // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1 С. 84–90. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-084-090
7. Кабиров Р. Р. Альготестирование и альгоиндикация. Уфа : БГПИ, 1995. 125 с.

ВЫЯВЛЕНИЕ МИКРОБНЫХ АССОЦИАЦИЙ В ОТХОДАХ СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Л. В. Пилип¹, В. А. Козвонин^{2,3}, Е. П. Колеватых³, Н. В. Сырчина²

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
pilip_larisa@mail.ru

² Вятский государственный университет, va_kozvonin@vyatsu.ru

³ Кировский государственный медицинский университет, hibica@mail.ru

Свиной навоз и навозные стоки являются биологическими загрязнителями, а также источниками выраженного запахового загрязнения. Исследование микробного состава навозных стоков позволит использовать эффективные и научно-обоснованные подходы к нейтрализации негативных последствий для окружающей среды. Согласно результатам исследований, преобладающими группами микроорганизмов в свиных навозных стоках являются анаэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы родов *Clostridium*, *Bacteroides*, *Escherichia*. Род *Escherichia* представлен большим количеством видов, включая *E. coli*, *E. fergusonii*, *E. hermannii* (*Atlantibacter hermannii*), *E. blattae* (*Shimwellia blattae*), *E. coli inactive*, *E. vulneris*. *E. hermannii* является редким возбудителем инвазивных инфекций.

Ключевые слова: свиной навоз, навозные стоки, *Escherichia*, запах.

Современное промышленное свиноводство сталкивается с серьезной проблемой утилизации больших объемов навозных стоков, образующихся

при функционировании агрохолдингов на ограниченных территориях [1–3]. На первый план выходит безопасная для окружающей среды технология переработки отходов животноводства [4, 5]. Микроорганизмы играют важную роль в разложении компонентов навоза, навозных стоков и газообразовании, а также биологическом загрязнении пахотных угодий животноводческих объектов [6, 7]. Свиной навоз, а так же навозные стоки являются к тому же источником выраженного запахового загрязнения, что имеет особенное значение вблизи населенных пунктов [8, 9].

Основная часть бактериальной ассоциации свиного навоза представлена анаэробными или факультативно анаэробными видами бактерий, что обусловлено бескислородными условиями толстого кишечника свиней [10].

Определяющий вклад в формирование запаха свиноферм вносит разложение навоза под воздействием микроорганизмов с образованием дурнопахнущих летучих органических веществ [7, 11].

Микроорганизмы рода *Escherichia* участвуют в микробиологических процессах дезаминирования аминокислот с образованием дурнопахнущих летучих жирных кислот, индола, скатола, аммиака и сероводорода [11]. Характерный запах фекальных масс обусловлен преимущественно скатолом, причем он более интенсивный и неприятный, чем запах индола. Следует отметить, что гетероциклическая аминокислота триптофан используется в качестве кормовой добавки, включаемой в состав рационов для свиней, что способствует повышению содержания в навозе указанных гетероциклических соединений.

Escherichia spp. были открыты и изучены немецким ученым Теодором Эшерихом. В последние годы изучению кишечной флоры уделяется большое внимание. Описаны редкие формы бактерий рода *Escherichia*, среди которых *E. blatte* (*Shimwellia blattae*), *E. hermannii* (*Atlantibacter hermannii*), *E. fergusonii*, *E. vulneris*, *Escherichia albertii*, *E. faecalis*, *E. marmotae*, *E. senegalensis* [12].

Целью исследований явилось выявление микробных ассоциаций с микроорганизмами рода *Escherichia* при исследовании микробного состава свиных навозных стоков.

Образцы навозных стоков транспортировали в микробиологическую лабораторию для идентификации и подсчета количества микроорганизмов. Из исследуемого материала готовили ряд серийных разведений с применением стерильного физиологического раствора, посев осуществляли в питательную среду Эндо, инкубировали при 37°C в течение 24 часов. Изучали колонии, характерные для бактерий рода *Escherichia*, морфологические особенности клеток при микроскопии фиксированных препаратов, окрашенных методом Грама. Идентифицировали с помощью набора ЭНТЕРОтест 24 (Erba Lachema, Чехия), предназначенного для биохимической дифференциации клинически значимых микроорганизмов семейства Enterobacteriaceae.

В результате анализа образцов выявлено, что в навозных стоках преобладали анаэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы родов

Clostridium, *Bacteroides*, *Escherichia*. При этом спектр представителей бактерий рода *Escherichia* был крайне разнообразен – *Escherichia coli*, *Escherichia fergusonii*, *Escherichia hermannii* (*Atlantibacter hermannii*), *Escherichia blattae* (*Shimwellia blattae*), *Escherichia coli inactive*, *Escherichia vulneris*. *E. hermannii* является редким возбудителем инвазивных инфекций. Так же показательным было обнаружение *E. blattae* (*Shimwellia blattae*), штаммы которой чаще изолировали с поверхностей объектов окружающей среды [13].

Морфологически эшерихии представляют палочки, не образующие спор и капсул, имеющие жгутики по всей поверхности тела клетки. Биохимически микроорганизмы рода *Escherichia* активные: разлагают углеводы (лактозу, глюкозу, сахарозу), многоатомные спирты (маннит, дульцит) с образованием кислоты и газа, обладают протеолитическими и липолитическими свойствами.

Межвидовая дифференциация бактерий рода *Escherichia* представлена ниже (табл. 1).

Таблица 1

Межвидовая дифференциация бактерий рода *Escherichia*

Тест или субстрат	<i>E. coli</i>	<i>E. hermannii</i> (<i>Atlantibacter hermannii</i>)	<i>E. vulneris</i>	<i>E. fergusonii</i>	<i>E. blattae</i> (<i>Shimwellia blattae</i>)
индолообразование	+/-	+	–	+	–
орнитин	+/-	+	–	+	+
сахароза	+/-	-/+	–	–	–
дульцит	+/-	+	–	+	–
адонит	-/+	–	–	+	–
сорбит	+/-	–	–	–	–
малонат натрия	–	–	+/-	-/+	+
целлобиоза	–	+	+	+	–
желтый пигмент	–	+	+/-	–	–

Согласно нашим исследованиям, наиболее биохимически активными являются *E. coli*, *E. hermannii* (*Atlantibacter hermannii*), *E. fergusonii*, менее активными *E. vulneris* и *E. blattae* (*Shimwellia blattae*). Полученные нами результаты согласуются с данными других исследователей [12, 14].

В результате изучения состава микрофлоры свиных навозных стоков было выявлено сочетание бактерий рода *Escherichia* с достаточно редким видом дрожжей *Rhodotorula glutinis* (табл. 2). В работах ряда ученых отмечается, что *Rhodotorula glutinis* из-за высокой устойчивости к ультрафиолетовому облучению рассматривают как индикаторы загрязнения окружающей среды отходами нефти, ртути, хрома и радиоактивными элементами [15, 16]. В связи с этим, интересным направлением исследований является выявление в микробных ассоциациях наряду с бактериями рода *Escherichia* и *Proteus* (*Proteus vulgaris*) дрожжей *Rhodotorula glutinis*. Данный факт требует дальнейших исследований в том числе для изучения корреляции процессов газообразования и микробного состава навозных стоков при разработке эффективных и науч-

но-обоснованных методов рациональной переработки и безопасной утилизации навозных стоков.

Таблица 2

Ассоциации *Rhodotorula glutinis* с энтеробактериями рода *Escherichia*

Микроорганизмы	Количество микроорганизмов в монокультуре (КОЕ/мл)	Количество микроорганизмов в ассоциации (КОЕ/мл)
<i>Rhodotorula glutinis</i>	$5 \pm 0,2 \cdot 10^2$	$7 \pm 0,1 \cdot 10^4$
<i>Escherichia coli</i>	$7 \pm 0,1 \cdot 10^7$	$6 \pm 0,3 \cdot 10^8$
<i>Escherichia fergusonii</i>	$6 \pm 0,2 \cdot 10^2$	$6 \pm 0,1 \cdot 10^4$
<i>Escherichia hermannii</i> (<i>Atlantibacter hermannii</i>)	$5 \pm 0,3 \cdot 10^2$	$5 \pm 0,2 \cdot 10^3$
<i>Escherichia blattae</i> (<i>Shimwellia blattae</i>)	$4 \pm 0,1 \cdot 10^3$	$8 \pm 0,1 \cdot 10^3$
<i>Escherichia coli inactive</i>	$7 \pm 0,1 \cdot 10^2$	$5 \pm 0,3 \cdot 10^5$
<i>Escherichia vulneris</i>	$7 \pm 0,3 \cdot 10^1$	$6 \pm 0,1 \cdot 10^4$
<i>Proteus vulgaris</i>	$6 \pm 0,1 \cdot 10^4$	$7 \pm 0,1 \cdot 10^6$

В составе свиных навозных стоков преобладают облигатно-анаэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы родов *Clostridium*, *Bacteroides*, *Escherichia*. Выявлен широкий спектр микроорганизмов представителей рода *Escherichia*. Наиболее биохимически активными являются *E. coli*, *E. hermannii* (*Atlantibacter hermannii*), *E. fergusonii*, менее активными *E. vulneris* и *E. blattae* (*Shimwellia blattae*). Бактерии рода *Escherichia* достаточно часто ассоциированы с редко встречающимся видом дрожжей *Rhodotorula glutinis*, а также с *Proteus vulgaris*.

Библиографический список

1. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Экологическая проблема отрасли свиноводства // Аграрная наука – сельскому хозяйству : сб. материалов XIV Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х книгах. Киров, 2019. С. 193–196.
2. Биологическое загрязнение пахотных земель отходами свиноводства / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина, А. В. Сазанов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 199–205. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-199-205
3. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Химическая деградация земель под воздействием отходов животноводства // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 219–225. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-219-225
4. Максишко Л. М. Экобезопасная технология переработки навозных отходов животноводства с абсорбцией парниковых газов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 205–209.
5. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Пилип // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 113–120. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
6. Пилип Л. В., Бякова О. В. Использование экспресс-теста для выявления антигенов *D. immitis* // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2018. № 1 (6). С. 53–57.
7. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики / Л. В. Пилип, В. А. Козвонин, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина // Тео-

ретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 161–167. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-161-167

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

9. Малинина А. Д., Бякова О. В., Пилип Л. В. Детекторы в криминалистике // Теория и практика обеспечения законности и правопорядка в современном обществе : материалы Всерос. студенческой науч. конф. Воронеж, 2018. С. 179–184.

10. Mackie R. I., Stroot P. G., Varel V. H. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. Journal of Animal Science. 1998. Vol. 76. P. 1331–1342. doi: 10.2527/1998.7651331x

11. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2000. Vol. 78. P. 93–106.

12. Частоедова Е. В., Колеватых Е. П. Вегетация редких видов бактерий рода *Escherichia* на слизистых оболочках влагалища женщин репродуктивного возраста. Вятский медицинский вестник. 2017. № 1(53). С. 52–56.

13. Popescu G. A., Dahan I., Popescu C., Mitache E. *Staphylococcus aureus* and *Escherichia hermannii* in Diabetes Patient // Emerging Infectious Diseases. 2004. № 10(7). P. 1335–1337. doi: 10.3201/eid1007.030567

14. Savini V., Catavittello C., Talia M., Manna A. et al. Multidrug-resistant *Escherichia fergusonii*: a case of acute cystitis // J. Clinical Microbiology. 2008. № 46 (4). P. 1551–1552. doi: 10.1128/JCM.01210-07

15. *Rhodotorula glutinis* как компонент биопленок навозных стоков / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых, В. А. Козвонин // Известия Коми научного центра УрО РАН. Серия Экспериментальная биология и экология. № 4 (56). 2022. С. 22–26.

16. Krzyściak P., Halska A., Macura A. Występowanie i chorobotwórczość grzybów *Rhodotorula* spp. // Post Mikrobiol. 2007. № 46. P. 291–300.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ЧИСЛЕННОСТЬ БАКТЕРИЙ РОДА *CLOSTRIDIUM* В СВИНЫХ НАВОЗНЫХ СТОКАХ

Н. В. Сырчина¹, Л. В. Пилип², Д. А. Кузнецов¹,
Е. П. Колеватых³, В. А. Козвонин¹

¹ Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru

² Вятский государственный агротехнологический университет,
pilip_larisa@mail.ru

³ Кировский государственный медицинский университет, hibica@mail.ru

Для улучшения микробиологических и органолептических характеристик навозных стоков используется их обработка различными препаратами. Типичным представителем микроорганизмов-аммонификаторов являются бактерии рода *Clostridium*. На численность данных бактерий оказывают влияние рН среды, наличие анионных поверхностно-активных веществ, использование добавок дезинфектантов окисляющего действия. Гипохлорит натрия обладает высокой эффективностью, представляет наименьшую опасность для окружающей среды, а также доступен и относительно недорог.

Ключевые слова: навозные стоки, *Clostridium*, запах, аммонификация, препараты для устранения запаха.

Основными отходами современного сельского хозяйства являются навоз и навозные стоки (НС). Экобезопасная технология переработки и утилизации данных отходов животноводства должна минимизировать возможный ущерб для окружающей среды [1, 2]. Отличительной особенностью соответствующих отходов является высокое содержание широкого спектра органических соединений (белков, углеводов, жиров, биологически активных веществ и т.п.), служащих хорошей питательной средой для развития сапрофитной микробиоты [3–5]. Микробиологическая деструкция органогенных субстратов сопровождается выбросом в окружающую среду парниковых газов (CH_4 , CO_2) и разнообразных запахообразующих веществ (ЗОВ), оказывающих негативное влияние на здоровье и качество жизни населения [6, 7], а по объемам выбросов парниковых газов современное животноводство занимает одну из лидирующих позиций среди других отраслей производства [8, 9].

Технология содержания свиней предусматривает сбор и накопление НС в подпольных навозонакопительных ваннах на протяжении 7-14 суток, удаление отходов из ванн, сепарирование стоков на твердую и жидкую фракции, обезвреживание фракций и их утилизацию. В период нахождения НС в ваннах в отходах активно развиваются процессы гниения, возбудителями которых в основном являются микроорганизмы, попадающие в НС из кишечника животных или с остатками корма. Процесс гниения (аммонификации) может протекать как в анаэробных, так и в аэробных условиях. В анаэробной среде одними из типичных представителей микроорганизмов-аммонификаторов являются бактерии рода *Clostridium*. Грамположительные спорообразующие анаэробные бактерии этого рода широко распространены в природе и входят в число микроорганизмов, обитающих в кишечнике человека и животных, в том числе свиней [10]. Большинство клостридий не патогенны, однако некоторые виды могут вызывать серьезные заболевания животных и человека (ботулизм, столбняк, некротический энтерит и др.) [8].

Для представителей рода *Clostridium* характерна высокая активность протеолитических и других ферментных систем, благодаря чему эти микроорганизмы способны метаболизировать содержащиеся в НС азотсодержащие органические соединения, сахара, крахмал, целлюлозу, пектин. Основными метаболитами клостридий являются органические кислоты, спирты, CO_2 , H_2 , минеральные вещества [11, 12]. Высокая устойчивость к широко применяемым в животноводстве антибиотикам способствует выживанию этих микроорганизмов в НС [13]. В составе НС клостридии переносятся в окружающую среду, что приводит к микробиологическому загрязнению почвы и водных объектов.

Одним из направлений улучшения микробиологических характеристик НС является обработка соответствующих отходов различными веществами и специализированными препаратами, способными подавлять патогенную мик-

робиоту и стимулировать активность микроорганизмов, обладающих хозяйственно-полезными свойствами.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния различных химических добавок, не относящихся к антибиотикам, на численность *Clostridium* ssp. в жидкой фракции НС свиноводческих предприятий (ЖНС).

Для проведения исследований использовали ЖНС, полученную в результате сепарирования свиного навоза на одном из свиноводческих предприятий Кировской области. Время накопления НС в подпольных навозонакопительных ваннах составляло 10 суток, затем НС удаляли из ванн и разделяли на жидкую и твердую фракции. Образцы ЖНС отбирали в стерильную тару сразу после сепарирования. ЖНС объемом 1 л помещали в темные пластиковые емкости объемом 1,5 л, вносили добавки согласно вариантам эксперимента и перемешивали. На горловинах емкостей герметично укрепляли пластиковые пакеты для сбора выделяющихся газов. В качестве добавок использовали растворы H_2SO_4 (10%) и NaOCl (содержание активного хлора 5%), а также специализированные препараты для устранения запаха биогенных отходов «BIUS» и «БИОКТИК». Эксперимент проводили в лабораторных условиях при естественном освещении и температуре $22 \pm 2^\circ C$. Через 7 суток после внесения добавок пробы ЖНС передавали в микробиологическую лабораторию для идентификации и подсчета количества *Clostridium* ssp. Из исследуемого материала готовили ряд серийных разведений с применением стерильного физиологического раствора, посев осуществляли в питательную среду Анаэроагар (Himedia, Индия), инкубировали при $37^\circ C$ в анаэробных условиях с использованием газогенерирующих пакетов «АНАЭРОГАЗ» (НПО «ИНКО», Россия). Изучали колонии, характерные для клостридий, морфологические особенности клеток при микроскопии фиксированных препаратов, окрашенных методами Грама и Ожешко. Идентифицировали в биохимическом тесте АНАЭРОтест23 (Pliva – Lachema, Хорватия) [14–16].

Для определения состава препаратов «BIUS» и «БИОКТИК» использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Все исследования проводили в трёхкратной повторности. Статистическую обработку полученных результатов выполняли стандартными методами с использованием встроенного пакета программ Microsoft Excel. Статистическую значимость различий средних величин оценивали по t-критерию Стьюдента.

Варианты эксперимента: 1) ЖНС без добавок (контроль); 2) ЖНС + раствор гипохлорита натрия: 1 мл/л; 3) ЖНС + раствор H_2SO_4 (10% масс.) до pH 5,5; 4) ЖНС + «BIUS» (согласно рекомендуемой производителем норме: 5л концентрата на 1000м^3 НС); 5) ЖНС + «БИОКТИК» (согласно рекомендуемой норме: 1л концентрата на 200м^3 НС).

Препараты «BIUS» и «БИОКТИК» добавляли, согласно рекомендациям производителей, в виде рабочих растворов, которые готовили из товарных форм концентратов методом разбавления водой.

Полученные в ходе эксперимента результаты приведены в таблице.

**Влияние добавок на численность *Clostridium* ssp.
в жидкой фракции навозных стоков**

Вариант	Количество <i>Clostridium</i> ssp. в 1 мл, КОЕ/мл
1 (контроль)	$(6 \pm 1,3) \cdot 10^7$
2 (добавка NaOCl)	$(8 \pm 1,6) \cdot 10^6$
3 (добавка H ₂ SO ₄)	$(4 \pm 0,8) \cdot 10^5$
4 (добавка «BIUS»)	$(6 \pm 0,8) \cdot 10^7$
5 (добавка «БИОКТИК»)	$(7 \pm 0,6) \cdot 10^5$

Примечание: жирным шрифтом выделены варианты с добавками, достоверно ($P > 0,95$) отличающиеся от контроля.

Согласно полученным результатам, наиболее значительное влияние на численность клостридий оказало подкисление ЖНС раствором H₂SO₄. Снижение pH до 5,5 привело к уменьшению количества соответствующих микроорганизмов более чем в 100 раз.

На втором месте оказался препарат «БИОКТИК». Биоцидную активность данного препарата можно объяснить наличием в его составе анионных поверхностно-активных веществ (химический состав препарата определен в рамках настоящей работы). Согласно опубликованным данным, для анионных ПАВ характерна выраженная антимикробная активность по отношению к грамположительным бактериям [17], к числу которых относятся клостридии.

Определенный эффект снижения количества клостридий наблюдался и при внесении в ЖНФ раствора гипохлорита натрия, широко используемого в качестве высокоэффективного и безопасного для окружающей среды антисептика и дезинфектанта. Биоцидные свойства растворов NaOCl обусловлены неустойчивой хлорноватистой кислотой, образующейся при гидролизе соответствующего соединения. Распад HOCl сопровождается генерированием ряда радикалов, блокирующих ферментные системы микроорганизмов [18]. Конечными продуктами распада NaOCl при обычных условиях являются NaCl и O₂.

Обработка ЖНС препаратом «BIUS» не оказала заметного влияния на численность представителей рода *Clostridium*. В состав этого препарата, также как и в состав препарата «БИОКТИК», входят А-ПАВ, однако их концентрация существенно ниже (примерно в 1000 раз), чем в препарате «БИОКТИК».

Выполненные исследования показали, что на численность бактерий рода *Clostridium* в ЖНФ существенное влияние оказывают такие факторы, как pH среды, наличие А-ПАВ, добавка дезинфектантов окисляющего действия. Наименьшую опасность для окружающей среды из соответствующего перечня представляет гипохлорит натрия. Кроме безопасности к достоинствам соответствующего биоцида можно отнести доступность и невысокую стоимость.

Результаты работы могут найти применение при разработке технологий снижения опасности микробиологического загрязнения окружающей среды отходами животноводства.

Библиографический список

1. Максишко Л. М. Экобезопасная технология переработки навозных отходов животноводства с абсорбцией парниковых газов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 205–209. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-205-209
2. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Химическая деградация земель под воздействием отходов животноводства // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 219–225. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-219-225
3. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Экологическая проблема отрасли свиноводства // Аграрная наука – сельскому хозяйству : сб. материалов XIV Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х книгах. Киров, 2019. С. 193–196.
4. Биологическое загрязнение пахотных земель отходами свиноводства / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина, А. В. Сазанов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 199–205. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-199-205
5. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики / Л. В. Пилип, В. А. Козвонин, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 161–167. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-161-167
6. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Контроль запахового загрязнения атмосферного воздуха (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 26–34. doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-026-034
7. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Пилип // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 113–120. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
8. 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
9. Козлов М. В. Животноводство и глобальное потепление // Условия, императивы и альтернативы развития современного общества в период нестабильности: экономика, управление, социология, право: сб. науч. трудов / под общ. ред. Е. В. Королук. Краснодар : Изд-во ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России Краснодарский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России (Краснодар), 2020. С. 284–286.
10. Дзицкоева З. Л., Улубиева Н. А. Выделение и идентификация молочнокислых и фекальных стрептококков из толстого кишечника поросят-отъемышей // Достижения науки – сельскому хозяйству : материалы региональной науч.-практ. конф. Владикавказ : Горский государственный аграрный университет, 2016. С. 171–174.
11. Клостридиозы / Э. Д. Джавадов, О. Б. Новикова, Н. И. Женихова, Н. А. Безбородова // БИО. 2020. № 6. С. 25–31.
12. Сидорова Н. А., Савушкин А. И., Чечкова Н. А. Протеолитическая активность природных штаммов *Clostridium* как основа технологии биоконверсии органических отходов // Дальневосточная весна–2021 : материалы 19-й Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам экологии и безопасности. Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 150–153.
13. Леонтьев В. Н., Элькаиб Х. М., Эльхедми А. Э. Порча пищевых продуктов: виды, причины и способы предотвращения // Труды БГУ 2013. Т. 8. Ч. 1. С. 125–130.

14. ГОСТ 31744-2012 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Метод подсчета колоний *Clostridium perfringens*. 2012.

15. ГОСТ Р 70152-2022 Методы внутреннего лабораторного контроля качества проведения микробиологических и паразитологических исследований. 2022.

16. Клинические рекомендации национальной ассоциации специалистов по контролю инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи об общероссийской общественной некоммерческой организации «Ассоциации колопроктологов России» по диагностике, лечению и профилактике *Clostridium difficile*-ассоциированной диареи, 2017.

17. Хабаева З. Г., Цховребова М. З. Механизмы воздействия поверхностно-активных веществ на микроорганизмы // Актуальные проблемы биологии и экологии : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Грозный : Чеченский государственный педагогический университет, 2019. С. 265–268.

18. Семенова И. В., Мишутова М. В. Бактерицидно-химические свойства хлорсодержащих дезинфектантов, применяемых при очистке сточных вод // Энергосбережение и водоподготовка. 2012. № 3. С. 42–46.

О МИКСОМИЦЕТАХ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ «НИЗЕВСКИЙ ТАЕЖНО-БОЛОТНЫЙ КОМПЛЕКС»

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*

Проведены исследования видового состава миксомицетов в лесных биоценозах Низевского таежно-болотного комплекса. Подтверждено обитание представителей 20 видов класса Mucoromycetes. Зафиксирован рост встречаемости плазмодияльных слизевиков на исследуемой территории, что свидетельствует о ее высоком потенциале в сохранении общего биоразнообразия.

Ключевые слова: миксомицеты, слизевики, лесные экосистемы, Низевский таежно-болотный комплекс, видовое разнообразие, метод «влажных камер».

Миксомицеты – группа грибоподобных протистов, ввиду особенностей своего жизненного цикла, занимающих обособленное положение в системе организации жизни. Эти организмы являются важным элементом структуры лесных экосистем. Они выступают одним из регуляторов микробиоты лесной подстилки и, таким образом, принимают активное участие в круговороте веществ [1, 2].

Развитие исследований биологии, экологии миксомицетов и их прикладных свойств невозможно без постоянной актуализации сведений об их видовом разнообразии, которое, в настоящее время, изучено крайне неравномерно [3]. До 2010 г. на территории Кировской области планомерные исследования состава миксомицетов не проводились. В настоящее время сравни-

тельно полно изучены территории заповедника «Нургуш», парков г. Киров, а также несколько отдельных экотопов в его окрестностях [2, 4]. Исследования видового состава миксомицетов на территории памятника природы регионального значения «Низевский таежно-болотный комплекс» проводятся с 2021 г. [5].

Расположенный в среднем течении р. Чепца, на территории Фаленского и Зуевского районов Кировской области, «Низевский таежно-болотный комплекс» представляет удобный для изучения эталонный участок, включающий ряд расположенных по высотному градиенту ландшафтов: от сообществ поймы, верховых и переходных болот до боровых участков южной тайги с различной интенсивностью сукцессии.

Полевой сбор спораношений миксомицетов осуществлялся маршрутным методом в сентябре-октябре 2022 г. Для большей эффективности исследования был применен стандартный метод «влажных камер», основанный на способности миксомицетов долгое время сохраняться внутри субстратов в виде покоящихся стадий [3].

В ходе маршрутных исследований 3-х боровых участков на 12 площадках были обнаружены спораношения представителей 10 видов 4 порядков класса Mucoromycetes (табл. 1).

Таблица 1

Виды миксомицетов, обнаруженные маршрутным методом

№	Вид	Порядок	Координаты площадок
1	<i>Didymium melanospermum</i>	Physarales	N58°28'42,89736" – E51°31'17,40144"
2	<i>Fuglio septica</i>		N58°28'40,15900" – E51°32'25,94800"
3	<i>Physarum album</i>		N58°28'41,74644" – E51°31'20,35272"
4	<i>Lycogala epidendrum</i>	Liceales	N58°28'42,21048" – E51°31'19,59420" N58°28'31,33900" – E51°32'43,43300"
5	<i>Stemonitis axifera</i>	Stemonitales	N58°28'44,63580" – E51°31'20,99604"
6	<i>Stemonitis fusca</i>		N58°28'48,02520" – E51°31'7,576320" N58°28'44,50080" – E51°31'19,18128" N58°28'34,51620" – E51°32'35,41560"
7	<i>Trichia botrytis</i>	Trichiales	N58°28'51,15864" – E51°30'56,55924"
8	<i>Trichia decipiens</i>		N58°28'51,15864" – E51°30'56,55924" N58°28'38,65400" – E51°32'20,15500"
9	<i>Trichia favoginea</i>		N58°28'38,65400" – E51°32'20,15500"
10	<i>Trichia scabra</i>		N58°28'38,65400" – E51°32'20,15500" N58°28'34,51620" – E51°32'35,41560"

Наибольшей частотой встречаемости в полевых условиях выделяются представители Stemonitidaceae, многочисленные, в большинстве своем, старые и малопригодные для точной идентификации спораношения которых фиксировались на исследуемой территории повсеместно. *Stemonitis fusca* был обнаружен в двух вариациях, собственно *S. fusca* и *S. fusca* var. *nigrescens*.

Широко представлены трихиевые миксомицеты, молодые спорокарпы *Trichia botrytis* обнаружены в составе обширной колонии на заросшем мхом участке ствола упавшей ели. На большинстве пробных площадок фиксирова-

ли спороношения представителей нескольких видов Мухомycetes, зачастую относящиеся к разным порядкам.

Спорокарпы *Physarum album* отмечены на гниющей древесине осины рядом с колониями *S. fusca* и *Trichia scabra*. Многочисленные спороношения *Didymium melanospermum* найдены на древесине околосеменной части ствола упавшей ели.

Отобранные для исследования с использованием метода «влажной камеры» образцы субстрата – фрагменты древесины различной степени разложения, коры деревьев лиственных пород, листового опада помещались на два слоя фильтровальной бумаги в чашки Петри. Исследуемые пробы вымачивали, а затем культивировали при поддержании достаточного для предотвращения высыхания субстрата уровня влажности. Первые спороношения миксомицетов были зафиксированы на шестой день от начала эксперимента (табл. 2).

Таблица 2

Виды миксомицетов, обнаруженные методом влажной камеры

№	Вид, № влажной камеры	Порядок	Координаты площадок
1	<i>Arcyria pomiformis</i> , № 7	Trichiales	N58°28'41,93000" – E51°32'26,75000"
	<i>Arcyria pomiformis</i> , № 13		N58°28'34,00700" – E51°32'36,84100"
2	<i>Ceratiomyxa fruticulosa</i> var. <i>descendens</i> , № 1	Ceratiomyxales	N58°28'47,29296" – E51°31'5,58048"
3	<i>Cribraria languescens</i> , № 7	Liceales	N58°28'41,93000" – E51°32'26,75000"
	<i>Cribraria languescens</i> , № 13		N58°28'34,00700" – E51°32'36,84100"
4	<i>Cribraria microcarpa</i> , № 19		N58°29'0,53412" – E51°32'46,96440"
5	<i>Echinostelium minutum</i> , № 19	Echinosteliales	N58°29'0,53412" – E51°32'46,96440"
6	<i>Comatricha ellae</i> , № 7	Stemonitales	N58°28'41,93000" – E51°32'26,75000"
7	<i>Stemonitopsis hyperopta</i> , № 13		N58°28'34,00700" – E51°32'36,84100"

Методом «влажных камер» выявлено 7 видов миксомицетов. Представители Stemonitales и Ceratiomyxales в условиях влажной камеры образовывали крупные колонии. Большинство спороношений обнаружено на фрагментах древесины хвойных пород.

По итогам исследований 2021 г. на территории комплекса зафиксированы представители 6 видов 4-х порядков Мухомycetes [5]. В 2022 г. 3 вида из них обнаружены повторно, впервые отмечены представители еще 14 видов, в том числе и двух внутривидовых вариаций.

Таким образом, в результате исследований на территории памятника природы подтверждено обитание 20 видов миксомицетов, принадлежащих к 9 семействам Arcyriaceae, Ceratiomyxaceae, Cribrariaceae, Didymiaceae, Echinosteliaceae, Physaraceae, Reticulariaceae, Stemonitidaceae, Trichiaceae всех 6 порядков класса Мухомycetes.

Активная жизнедеятельность слизевиков тесно связана с увлажненностью их местообитаний, со способностью субстрата удерживать влагу и с микроклиматом на конкретной территории. Аномально жаркие и засушливые

условия сохраняются в районе исследований второй вегетационный период подряд, что не может не сказываться на выявляемом в ходе исследований видовом разнообразии миксомицетов. Проведенные исследования видового состава миксомицетов показывают высокий потенциал памятника природы в сохранении общего биоразнообразия.

Библиографический список

1. Новожилов Ю. К. Определитель грибов России: Отдел Слизевики. СПб. : Наука, 1993. 288 с.
2. Широких А. А. Миксомицеты заповедника Нургуш. Киров : О-Краткое, 2018. 92 с.
3. Гмошинский В. И., Дунаев Е. А., Киреева Н. И. Определитель миксомицетов Московской области : учебно-методическое пособие. М. : МГУ, 2016. 160 с.
4. Широких А. А., Широких И. Г. Биоразнообразие слизевиков на эталонных участках средней и южной тайги Кировской области // Сохранение лесных экосистем : проблемы и пути их решения : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Киров : Вятский государственный университет, 2019. С. 315–319.
5. Никифоров Н. А. Первые сведения о миксомицетах памятника природы регионального значения «Низевский таежно-болотный комплекс» // Экология родного края : проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 138–141.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЩЕЛЕЛИСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО

А. А. Широких

Федеральный аграрный научный центр
Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
aleshirokikh@yandex.ru

В статье представлен обзор генетических особенностей ксилотрофного гриба щелелистника обыкновенного, которые обеспечивают ему высокое генетическое разнообразие и скорость мутирования. Гриб продуцирует полисахариды, обладающие противоопухолевым и антимикробным действием, и может стать привлекательным объектом для поиска новых биологически активных соединений.

Ключевые слова: генетическое разнообразие, геном, мутации, лигнин, полисахариды

Среди огромного разнообразия высших базидиальных грибов существуют виды, обладающие уникальными биотехнологическими свойствами. Одним из таких видов является *Shizophyllum commune* (Fr.) или щелелистник обыкновенный, принадлежащий к семейству Schizophyllaceae порядка Agaricales отдела Basidiomycota. Щелелистник принадлежит к экологической группе ксилотрофных грибов «белой гнили», а следовательно, способен окислять

одно из самых трудноразлагаемых природных соединений – лигнин. Грибы этого таксона распространены на всех континентах, кроме Антарктиды. Обычно щелелистник описывают как морфологический вид глобального распространения, но некоторые исследователи считают, что это видовой комплекс, который включает несколько «загадочных» видов с более узким распространением. Загадочность шизофиллума связана с особенностями его генетического аппарата.

В природе гаплоидная спора гриба прорастает монокариотическим мицелием с определённой половой принадлежностью, маркируемой половым знаком. В процессе полового цикла каждый такой мицелий сливается с мицелием противоположного знака, образуя мицелий дикариотический. Пол гриба определяется двумя локусами, один из которых представлен 288 аллелями, а другой – 81. Такое гигантское количество аллелей, отличающее шизофиллум от других организмов, порождает у шизофиллума огромное количество полов (23328) и обуславливает наивысшее (20%) среди всех на сегодня изученных организмов генетическое разнообразие в популяции этого базидиального гриба [1]. При этом гриб отличается высокая скорость мутаций – порядка 90 мутаций на геном в год. Полный геном щелелистника был секвенирован в 2010 г. [2].

Из плодовых тел щелелистника выделен полисахарид шизофиллан, обладающий противоопухолевыми, антимикробными, противовоспалительными и антивирусными свойствами. Сейчас на его основе разработаны и применяются на практике в некоторых странах (США, Япония и др.) препараты для усиления жизнеспособности организма, лечения рака молочных желез, шейки матки и других органов и тканей, противовоспалительные составы [3].

Наряду с фармакологическими свойствами вызывает интерес и деградирующий потенциал шизофиллума. Недавно в непечатных СМИ появились сообщения о способности некоторых штаммов щелелистника разрушать полимерные соединения искусственного происхождения, в частности – при культивировании в пластиковых чашках.

Высокое генетическое разнообразие в сочетании с высокой скоростью появления спонтанных мутаций делают весьма вероятным получение деструкционно активных штаммов щелелистника. В лаборатории ФАНЦ Северо-Востока с помощью селективных приемов получен местный изолят гриба *S. commune* (Fr.) и начаты работы по его искусственному культивированию.

Библиографический список

1. Экспериментальная эволюция базидиомицета *Schizophyllum commune*: мутагенез и естественный отбор / А. В. Безменова, Е. А. Звягина, Т. В. Неретина, Г. А. Базыкин, А. С. Кондрашов // Информационные технологии и системы 2016 : 40-я междисциплинарная школа-конф. Репино, СПб., 2016. С. 408–410.
2. Genome sequence of the model mushroom *Schizophyllum commune* / R. A. Ohm, J. F. de Jong, L. G. Lugones et al. / Nature biotechnology. 2010. Vol. 28 No. 9. P. 957–965.

3. Лекарственные грибы в традиционной китайской медицине и современных биотехнологиях / Ли Юй, Тулигуел, Бао 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.

ИЗМЕНЕНИЯ БИОГЕННОСТИ ПОЧВ В ПОСЕВАХ ЯЧМЕНЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ БИОПРЕПАРАТОВ

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

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

В статье приводятся результаты сравнительного анализа численности агрономически полезных групп микроорганизмов при использовании микробных биопрепаратов «Ресойлер», «Полибакт» и «Гордебак» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Более эффективно улучшают биогенность почвы полифункциональные биопрепараты «Полибакт» и «Гордебак».

Ключевые слова: микроорганизмы, микробные полифункциональные биопрепараты, «Ресойлер», «Полибакт», «Гордебак», численность

Важнейшими свойствами почвы, определяющими плодородие, являются параметры биологической активности. В общем случае биологическая активность почвы – совокупность биологических и биохимических процессов, протекающих в почве и связанных с жизнедеятельностью почвенной фауны, микрофлоры почвы и корней растений. Сохранение почвенного плодородия в условиях интенсивного земледелия является весьма актуальным, а изучение факторов, влияющих на него, является теоретически и практически необходимым. Почвенная микрофлора и микробиологические процессы играют особую роль в плодородии почвы [1].

Многие микроорганизмы способны адаптироваться к стрессовым условиям среды и сохранять свою жизнеспособность. Их можно использовать для защиты растений от негативных факторов внешней среды [2–4].

Исследования выполняли в весенне-летний период 2022 г. на землях агрокомбината «Южный» вблизи н.п. Костюковка Гомельского района Гомельской области. Объектом исследований являлась биологическая активность агрономически полезных групп микроорганизмов при обработке микробными биопрепаратами «Полибакт», «Гордебак» и «Ресойлер» посевов ячменя.

Комплексный микробный препарат «Полибакт», который применяли в своих исследованиях, восстанавливает микробоценоз почвы и повышает урожайность сельскохозяйственных культур, разработан в Институте микробиологии НАН РБ. Препарат «Полибакт» стимулирует жизнедеятельность микроорганизмов основных эколого-трофических групп, ускоряет процессы минерализации растительных остатков в почве. Характеризуется фитопротекторным, ростстимулирующим, деструктивным, фосфатмобилизующим и азотфиксирующим свойствами. Экологически безопасен.

Комплексный микробный препарат «Гордебак» позволяет получить экологически чистую продукцию и снизить пестицидную нагрузку на агробиоценозы. Не фитотоксичен, безвреден для человека, животных, рыб, полезных насекомых.

Микробный биопрепарат «Ресойлер», применяемый в исследованиях, разработан в РУН «Институт защиты растений» и позволяет осуществлять биоконтроль за фитопатогенами, обеспечивает получение экологически чистой продукции растениеводства и кормов, а также предназначен для оздоровления почвы и почвогрунтов и повышения продуктивности агробиоценозов, повышения роста и урожайности растений.

Для оценки эффективности препаратов был заложен полевой опыт на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на посевах ячменя.

Схема опыта.

- 1) контроль – без обработки посевов ячменя микробными биопрепаратами;
- 2) обработка посевов ячменя микробным биопрепаратом «Гордебак»;
- 3) обработка посевов ячменя микробным биопрепаратом «Полибакт»;
- 4) обработка посевов ячменя микробным биопрепаратом «Ресойлер».

Агрохимическая характеристика почвы опыта следующая: рН в КСl – 5,9; фосфор – 280 мг/кг; калий – 290 мг/кг.

Площадь опытных делянок составляла 5 м², размещение рендомизировано: повторность опытов – 4-х кратная. Нормы расхода по изучаемым микробным биопрепаратам «Полибакт», «Гордебак» и «Ресойлер» составляли 3 л/га.

Микробиологическую индикацию почвы выполняли согласно общепринятым в почвенной микробиологии методам.

Для оценки влияния препаратов «Полибакт», «Гордебак» и «Ресойлер» на микробонаселение почвы (зимогенную, олиготрофную, автохтонную группы) использовали чашечный метод Коха, с помощью которого определяли численность аммонифицирующих, амилалитических, олигонитрофильных, олигокарбофильных, автохтонных микроорганизмов на селективных питательных средах: мясопептонном (МПА), крахмало-аммиачном (КАА), среда Эшби, голодном (ГА), нитритном (НА) агарах, соответственно. Все посеы проводили в трехкратной повторности.

Численность микроорганизмов определяли в колониеобразующих единицах (КОЕ), пересчитывали на 1 г абсолютно сухой почвы.

Анализ численности микроорганизмов микробиоценоза почвы в посевах ячменя в фазу выхода в трубку на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при использовании полифункциональных биопрепаратов показал, что численность зимогенной экологической ниши, включающей аммонифицирующие, усваивающие минеральный азот, в том числе микромицеты, споровые аммонификаторы, целлюлозоразрушающие аэробные микромицеты изменялась в зависимости от полифункциональных биопрепаратов.

Так, рассматривая численность аммонифицирующих бактерий, видно, что наибольшая численность наблюдалась в варианте «Гордебак», что в 1,9 раза выше, чем в варианте «Ресойлер», и в 1,2 раза больше, чем в варианте «Полибакт». Таким образом, биопрепарат «Гордебак» более эффективно оказывает влияние на численность аммонифицирующих бактерий (рис. 1).

Анализируя численность микроорганизмов, усваивающих минеральный азот, можно отметить, что также наибольшая численность этих бактерий отмечена в варианте с использованием биопрепарата «Гордебак». Здесь численность в 4 раза выше, чем в контроле, в 3,3 раза больше, чем в варианте «Ресойлер», в 2,9 раза выше, чем в варианте «Полибакт» (рис. 2).

Наибольшая численность микромицетов отмечена в варианте с использованием биопрепаратов «Полибакт» и «Гордебак», что в 5,5 раз выше, чем в контроле и в 1,8 раза, чем в варианте с биопрепаратом «Ресойлер».

Наибольшая численность споровых аммонификаторов отмечалась в варианте «Полибакт», которая почти в 1,5 раза превышала численность в вариантах контроль, «Ресойлер», «Гордебак».

Анализ целлюлозоразрушающих аэробных бактерий (общее количество) показал, что наибольшая численность наблюдалась в варианте «Полибакт» и превышала численность в контроле в 2,2 раза, в варианте «Ресойлер» – в 1,8 раза, в варианте «Гордебак» – в 1,5 раза (рис. 3).

Рассматривая численность целлюлозоразрушающих аэробных – микромицеты, видно, что наибольшая численность отмечена в варианте с использованием «Полибакт», что в 15,7 раза больше, чем в контроле, в 2,8 раза больше, чем в варианте «Ресойлер» и в 1,3 раза больше, чем в варианте «Гордебак».

Наибольшая численность фосфатмобилизирующих бактерий обнаружена в варианте «Гордебак», что в 1,3 раза больше, чем в контроле, в варианте с «Ресойлер», в варианте «Полибакт» (рис. 4).

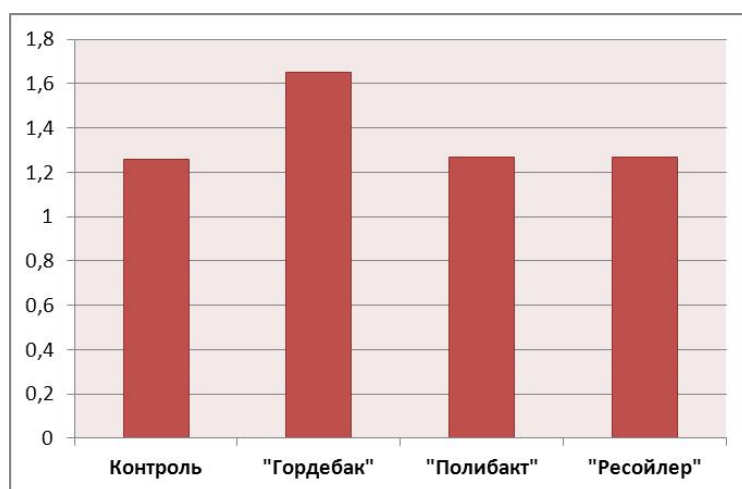


Рис. 1. Количество аммонифицирующих бактерий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от полифункциональных биопрепаратов в 2022 году

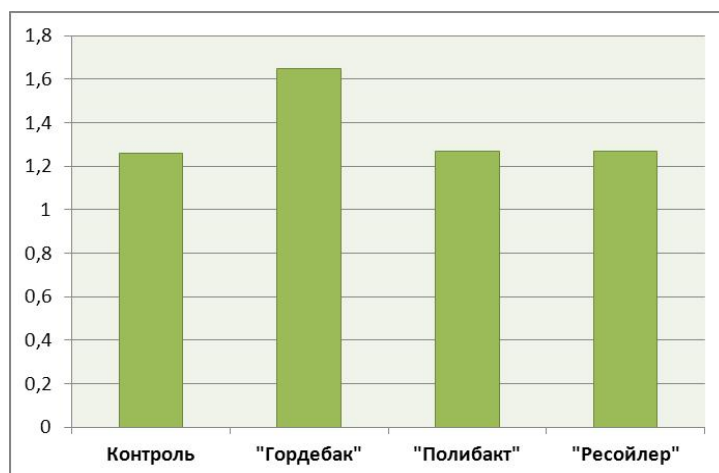


Рис. 2. Количество бактерий, усваивающих минеральный азот, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от полифункциональных биопрепаратов в 2022 году

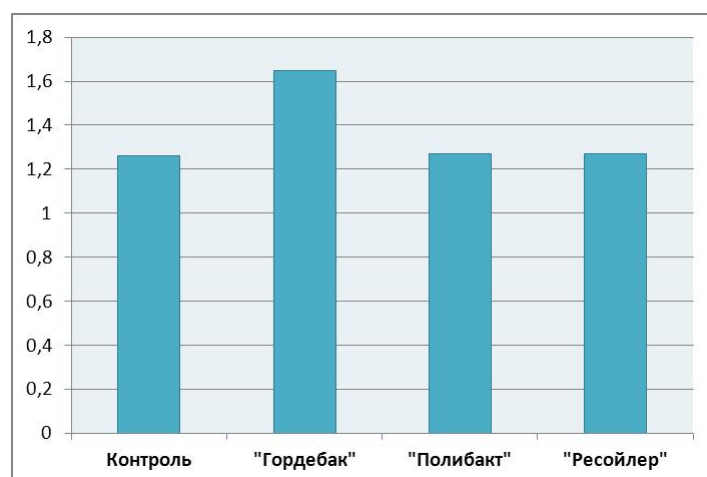


Рис. 3. Количество целлюлозоразрушающих аэробных – общее количество бактерий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от полифункциональных биопрепаратов в 2022 году

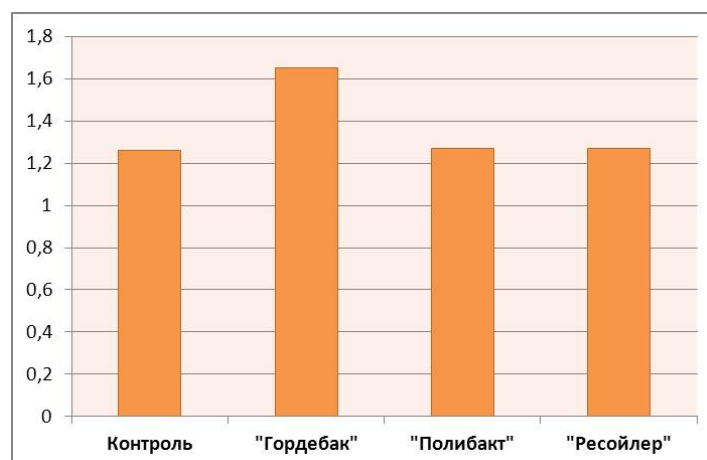


Рис. 4. Количество фосфатмобилизирующих бактерий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от полифункциональных биопрепаратов в 2022 году

Таким образом, проведенные исследования показали, что использованные полифункциональные биопрепараты улучшают биогенность почв.

Библиографический список

1. Демина О. Н., Еремин Д. И. Влияние минеральных удобрений на микрофлору пахотного чернозема лесостепной зоны Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2020. С. 63–71.
2. Trichoderma: a potential bioremediator for environmental clean up / P. Tripathi P. C. Singh, Mishra A., Chauhan P. S., Sanjay Dwivedi & Rudra Deo Tripathi // Clean Technologies and Environmental Policy. 2013. Vol. 15. No. 4. P. 541–550. doi: 10.1007/s10098-012-0553-7
3. Trichoderma species as biocontrol agent against soil borne fungal pathogens / S. Bastakoti, S. Belbase, S. Manandhar, C. Arjyal // Nepal Journal of Biotechnology. 2017. Vol. 5. No. 1. P. 39–45. doi: 10.3126/njb.v5i1.18492
4. Солдатова И. Э., Солдатов Э. Д. Экологические функции микроорганизмов почв горных пастбищ. Владикавказ : Северо-Кавказ. науч.-исслед. ин-т горного и предгорного сел. хоз-ва, 2016. 8 с.
5. Основные микробиологические и биохимические методы исследования почв / под ред. Ю. М. Возняковской. Л. : ВНИИСХМ, 1987. 47 с.
6. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1987. 239 с.

БИОИНДИКАЦИЯ ГОРОДСКИХ ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ

А. Н. Пархоменко, Х. Х. Бекиева

*Астраханский государственный технический университет,
parhoman@mail.ru, hbekiyeva@inbox.ru*

В статье представлены данные по изучению азотфиксирующих микроорганизмов в почвах г. Астрахани. В ходе исследования определена численность и состояние популяции азотфиксаторов. Определены суммарные индексы токсичности для всех исследуемых почв. Выявлены уровни проявления защитной реакции микроорганизмов в условиях стрессовых воздействий.

Ключевые слова: биоиндикация, почвы, азотфиксирующие микроорганизмы, токсичность

В настоящее время большое внимание уделяется оценке состояния почв как базового компонента экосистемы. Загрязнение почвы токсикантами может привести к целому ряду негативных последствий: воздействию на живые организмы; нарушению экологического равновесия в почвенном биоценозе, деградации растительного сообщества, изменению физико-химических свойств почвы, снижению сельхозпродуктивности. Для оценки и контроля загрязнения почв наряду с химико-аналитическими методами широко применяются методы биотестирования с использованием различных тест-объектов. Это позволяет не только определить токсичность тех или иных веществ, но и

их суммарное воздействие, получить более объективную информацию о неблагоприятном воздействии природных и антропогенных факторов [1].

В основном методы биотестирования с помощью микроорганизмов разработаны для оценки токсичности индивидуальных соединений, либо жидких проб (поверхностных и сточных вод). При тестировании почв применяется предварительная процедура получения водного экстракта, который и подвергается тестированию. Альтернативой этим тестам являются контактные микробные тесты, основанные на оценке непосредственного влияния почвы на тестовый организм, либо на тестовую функцию. При любом способе тестирования определение токсичности загрязняющих веществ в почвах имеет ряд особенностей, связанных со сложными взаимодействиями токсикантов с почвенной матрицей [2]. Микроорганизмы можно использовать для проведения биологического мониторинга экологического состояния загрязненных почв. Перспективным агентом для целей биологического мониторинга являются бактерии рода *Azotobacter* [3]. Некоторыми авторами [4–5] показано, что для азотобактера характерна чувствительность к определенным факторам внешней среды, что позволяет использовать его для индикации экологического состояния почв.

Целью работы являлось выделение и изучение азотфиксирующих микроорганизмов из почв г. Астрахани, а также оценка возможности их использования в качестве биоиндикатора экологического состояния почв.

На первом этапе выделяли азотфиксирующие микроорганизмы из почв г. Астрахани. Для этого отобрали 10 проб почвы, 6 из которых – на территории городских парков (1 – Братский сад; 2 – Бульвар победы; 3 – Аркадия; 4 – Дружба; 5 – театр Оперы и Балета; 6 – парк ФГБОУ ВО Астраханского государственного технического университета). Пробы 7-10 отбирали в зоне влияния ТЭЦ-2; железной дороги; вдоль автомагистрали и на территории автомойки, соответственно.

Посев проводили на поверхность плотной среды Эшби методом «почвенных комочков». Подсчитывали число образовавшихся колоний, определяли их диаметр и степень обрастания комочков во всех почвах. Отмечали наличие и характер пигментации, степень слизееобразования.

На втором этапе эксперимента рассчитали индекс токсичности, как отношение значения каждого показателя к фоновой величине. Суммарный индекс токсичности вычисляли по формуле [6]: $ИТ_{сумм} = ИТ_1 + ИТ_2$ где $ИТ_1$ и $ИТ_2$ – индексы токсичности по количеству колоний и среднему диаметру азотобактера, соответственно.

В ходе исследований, из всех отобранных почв на среде Эшби выделили азотфиксирующие микроорганизмы. Микроорганизмы отличались по скорости роста, размеру колоний, степени обрастания почвенных комочков (табл.), а также характером пигментации.

Характеристика азотфиксирующих микроорганизмов исследуемых почв

Проба	Степень обрастания (%)	Средний диаметр колоний (мм)	ИТ1	ИТ2	ИТсумм
1	100,0	13,4	1,0	1,0	2,0
2	80,0	12,88	0,8	0,96	1,76
3	90,0	15,9	0,9	1,19	2,09
4	100,0	11,4	1,0	0,85	1,85
5	100,0	12,1	1,0	0,9	1,9
6	100,0	15,4	1,0	1,15	2,15
7	65,0	10,0	0,65	0,75	1,4
8	90,0	9,72	0,9	0,72	1,62
9	97,5	11,27	0,97	0,84	1,81
10	86,5	12,45	0,86	0,93	1,79

При определении относительного содержания азотфиксирующих микроорганизмов в исследуемых почвах установили, что только в четырех пробах парковой почвы (1, 4–6) поверхность почвенных комочков колонизирована полностью (табл.). Более низкие значения – 80 и 90% – отмечены в пробах 2 (Бульвар победы) и 3 (Аркадия) и могут быть связаны с особенностями данных территорий, так как для этих городских парков характерна большая посещаемость и преобладание пешеходных зон. Самая низкая численность отмечена в пробе 7 (ТЭЦ-2) – 65%. В почвах, отобранных в зоне влияния железной дороги, вдоль автомагистрали и на территории автомойки, степень обрастания азотобактером составила 86,5–97,5%. Вероятно, в данных почвах со временем развиваются устойчивые формы азотфиксирующих микроорганизмов, способные адаптироваться к негативному влиянию загрязняющих веществ в данных почвах. Подобное явление мы отмечали ранее при исследовании почв в зоне влияния предприятий нефтегазовой отрасли (Астраханского газового комплекса и нефтебазы № 5 Астраханского филиала ООО «ЛУКОЙЛ-НВНП») [7].

Состояние популяций азотфиксирующих микроорганизмов можно охарактеризовать также по размеру (ореолу) роста бактерий вокруг почвенных комочков [8]. Максимальный средний размер колоний отмечен в пробе 3 (15,9 мм), в пробах 6, 1 и 2 ореол несколько меньше, но, в целом, колонии, выявленные в почвах парков больше, чем в остальных пробах (от 12,88 до 15,4 мм). Также необходимо отметить, что по данному показателю, сильное воздействие стрессовых факторов на состояние популяции азотфиксирующих микроорганизмов происходит в почвах ТЭЦ-2 (проба 7) и железнодорожного полотна (проба 8), так как данный показатель ниже значений (на 24–39%), отмеченных для большинства парковых почв и составляет 10,0 и 9,72 мм соответственно (табл.). Выделенные из проб 7–10 колонии характеризовались сильным ослизнением, преобладанием темно-коричневой пигментации, что может косвенно свидетельствовать о защитной реакции клеток на воздействие неблагоприятных условий.

Используя совокупность полученных данных по численности и состоянию популяции азотфиксирующих микроорганизмов (табл.), рассчитали для каждой почвы индекс токсичности (ИТсумм).

В результате установили, что большую токсичность в отношении азотфиксирующих микроорганизмов, как важного компонента почвенного биоценоза, проявляют почвы, отобранные в зоне влияния ТЭЦ-2 и железнодорожного полотна, суммарный индекс токсичности которых на 30 и 19% ниже фоновых значений, соответственно. Что также подтверждается аномальным характером роста азотфиксирующих микроорганизмов, сильной степенью слизевобразования и формированием в преобладающем количестве темноокрашенных колоний в данных пробах.

Библиографический список

1. Галицкая П. Ю., Селивановская С. Ю. Биологическая оценка токсичности почв методом биотестирования // Агрохимия. 2009. № 3. С. 84–88.
2. Каманина И. З., Каплина С. П., Чигоева Д. Н. Определение токсичности почв в зоне влияния горнодобывающей промышленности // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 3. С. 21–26.
3. Мамонтов В. Г., Панов Н. П., Игнатъев Н. Н. Общее почвоведение. М. : Изд-во «КНОРУС», 2017. 538 с.
4. Артамонова В. С., Еремченко О. З. Адаптивные признаки *Azotobacter chroococcum* Beiyinck и *Bacillus mycoides* Flugge в городских почвах // Вестник Пермского университета. 2015. Вып. 2. С. 158–166.
5. Феоктистова И. Д. Оценка экологического состояния почв урбанизированных территорий, загрязненных нефтепродуктами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1(5). С. 1233–1235.
6. Семенова И. Н., Суюндуков Я. Т. Оценка токсичности почв города Сибай с помощью культуры азотобактер // Вестник ОГУ. 2013. № 10(159). С. 272–274.
7. Пархоменко А. Н. Микроорганизмы рода *Azotobacter* в антропогенно нарушенных почвах // Известия Уфимского научного центра РАН. Серия Биология, Биохимия и Генетика. 2017. № 3(1). С. 184–188.
8. Микроорганизмы в биоиндикации городских почв / Л. И. Домрачева, С. Г. Скугорева, Т. И. Кутявина, В. С. Симакова, А. Л. Люкина // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVI Всерос. науч-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Изд-во Вятский государственный университет, 2018. С. 211–215.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ПИГМЕНТНАЯ СИСТЕМА ЦИАНОБАКТЕРИЙ

А. Р. Гальперина

*Астраханский государственный технический университет,
alina_r_s@rambler.ru*

В статье представлены результаты серии экспериментов по определению влияния тяжелых металлов (кадмия, меди, свинца и серебра, а также ацетата и нитрата свинца) на пигментную систему нитчатых цианобактерий рода *Leptolyngbya*. Отмечено, что степень выраженности токсического эффекта

снижается от серебра к свинцу. Низкие концентрации металлов (0,002–0,02 мг/л) стимулируют образование хлорофилла, каротиноидов и фикобилиновых пигментов. Сопоставление влияния различных солей свинца на нитчатые цианобактерии выявило более выраженный ингибирующий эффект нитратной формы свинца по сравнению с ацетатной. Исследуемые цианобактерии аккумулируют до 96,2% ионов свинца из водного раствора.

Ключевые слова: тяжелые металлы, цианобактерии, свинец, фотосинтетические пигменты.

Одной из важнейших функций цианобактерий является способность к биоаккумуляции и детоксикации тяжелых металлов. Специфические ответные реакции (размеры, морфология, ультраструктура клеток, содержание пигментов и их соотношение) на действие антропогенных факторов могут служить репрезентативными показателями состояния экосистем [1–3]. В связи с этим, особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение как морфологических, так и физиолого-биохимических параметров цианобактерий под действием тяжелых металлов [4]. Ограниченность данных о влиянии тяжелых металлов на пигментный комплекс цианобактерий предопределяет необходимость дальнейших исследований в данной области.

В связи с этим, целью исследований стало изучение влияния солей тяжелых металлов на пигментную систему нитчатых цианобактерий.

Объектом исследований являлась альгологически чистая культура нитчатых цианобактерий рода *Leptolyngbya* из коллекции кафедры «Прикладная биология и микробиология» Астраханского государственного технического университета. Культивирование цианобактерий проводили на среде BG-11 в колбах Эрленмейера при температуре 20 ± 2 °C и постоянном искусственном освещении 1500 люкс. Серебро вносили в среду в виде AgNO_3 , кадмий – CdCl_2 , свинец – $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, медь – CuSO_4 . Токсичность тяжелых металлов оценивали по их концентрациям: 200 мг/л; 20 мг/л; 2 мг/л; 0,2 мг/л; 0,02 мг/л; 0,002 мг/л. На следующем этапе оценивали влияние разных солей свинца: ацетата ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) и нитрата ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$). В эксперименте использовали концентрации свинца 1, 5, 10, 15, 20 ПДК (ПДК свинца для вод поверхностных водоемов – 0,1 мг/л). Оценку соотношения пигментов в клетках цианобактерий в условиях аккумуляции ионов свинца проводили методом модельных микросистем. Свинец вносили в среду в виде ацетата ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$). В эксперименте использовали концентрации свинца 0,02, 0,1, 0,2, 0,4 мМ/дм³. Контролями служили: неинокулированная питательная среда, содержащая ионы Pb^{2+} ; среда с цианобактериями, культивируемыми без ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$). Содержание ионов свинца в водной среде определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии [5, 6] согласно ПНД Ф 14.1:2:4.214-06. Контроль пигментного комплекса цианобактерий осуществляли по изменению содержания хлорофилла *a*, каротиноидов и фикобилипротеинов [7–10].

В ходе проведенных исследований установлено, что данные цианобактерии выдерживают воздействие до 20 мг/л $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, до 0,02 мг/л CdCl_2 , до 0,02 мг/л CuSO_4 , до 0,002 мг/л AgNO_3 . Проявление токсического эффекта тяжелых металлов убывало в следующей последовательности: $\text{Ag} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Pb}$. Токсическое действие тяжелых металлов на цианобактерии сопровождалось физиологическими изменениями в клетках. Присутствие всех металлов в концентрации 0,002 мг/л способствовало увеличению содержания хлорофилла *a* от 116% (CdCl_2) до 216% ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) по сравнению с контролем. На содержание каротиноидов стимулирующим образом оказывают влияние все металлы в концентрации 0,002 мг/л, максимальный эффект выражен при внесении AgNO_3 – 133%. Фикобилиновые пигменты оказались более чувствительными к воздействию токсикантов. Максимальным стимулирующим действием обладал кадмий в концентрациях 0,002 мг/л и 0,02 мг/л: в этих условиях наблюдалось увеличение синтеза фикоцианина до 8 раз, аллофикоцианина до 3 раз, фикоэритрина до 50 раз по сравнению с контролем.

Таким образом, отмечена адаптация цианобактерий к тяжелым металлам, что выражалось в изменении фотосинтетической системы. Выявлено, что исследуемые тяжелые металлы в низких концентрациях (0,002–0,02 мг/л) стимулируют образование хлорофилла *a*, каротиноидов и фикобилиновых пигментов.

Изучение влияния ацетата ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) и нитрата ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) свинца в диапазоне концентраций от 1 до 25 ПДК (по иону свинца) показало максимальное снижение концентрации хлорофилла *a* при внесении 20 и 25 ПДК ацетата и нитрата свинца, соответственно. Установлено, что ацетат свинца оказывает стимулирующее действие на синтез фотосинтетических пигментов. Содержание хлорофилла *a* выросло на 30,6%, каротиноидов – на 24,0% при концентрации в 1 ПДК. Нитрат свинца оказывает выраженное ингибирующее действие на синтез фотосинтетических пигментов. Угнетение концентрации хлорофилла *a* и каротиноидов на 38,8% и 79,4% соответственно наблюдалось уже при 1 ПДК.

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований отмечено, что по сравнению с синтезом каротиноидов, процесс биосинтеза хлорофилла *a* менее чувствителен к действию солей свинца. При этом, повышенный синтез пигмента может быть связан с проявлением защитной реакции клетки на действие токсиканта и указывает на наличие у исследуемых цианобактерий механизма адаптации к свинцу.

Отмечалось стимулирующее действие ацетата свинца на синтез фикоцианина (на 94,0%) и аллофикоцианина (на 120,0%) в концентрации до 5 ПДК; нитрата свинца на синтез фикоцианина (на 64,7%) в концентрации до 5 ПДК и на синтез аллофикоцианина (до 140,0%) и фикоэритрина (до 228,0%) при концентрации до 10 ПДК. Сопоставление влияния различных солей свинца на нитчатые цианобактерии выявило более выраженный ингибирующий эффект нитратной формы свинца по сравнению с ацетатной.

Выявлена аккумуляция ионов свинца биомассой цианобактерий. Наблюдалось снижение концентрации ионов Pb^{2+} в растворе. Степень извлечения возрастала в зависимости от увеличения исходной концентрации Pb^{2+} : минимальная (51,6%) – в растворе с концентрацией ионов Pb^{2+} 0,02 мМ/дм³, максимальная (96,2%) – в растворе с 0,4 мМ/дм³. Убыль в абиотическом контроле не превышала 3,2%. Пигментная система цианобактерий, находящаяся под воздействием ацетата свинца, выражено реагировала на его воздействие. Содержание хлорофилла *a* и фикобилиновых пигментов в биомассе последовательно снижалось с возрастанием концентрации ионов свинца в растворе, достигая минимальных значений в присутствии 0,4 мМ/дм³ Pb^{2+} . Каротиноидные пигменты под воздействием Pb^{2+} изменялись неоднозначно. При концентрации Pb^{2+} 0,2 мМ/дм³ наблюдалось максимальное увеличение содержания каротиноидов, на 1% превышающее содержание в контрольном варианте.

Таким образом, в ходе исследований определена степень проявления токсического эффекта тяжелых металлов, она убывала от серебра к свинцу: $Ag > Cu > Cd > Pb$. Выявлено, что данные тяжелые металлы в низких концентрациях (0,002–0,02 мг/л) стимулируют образования хлорофилла *a*, каротиноидов и фикобилиновых пигментов. Исследуемые цианобактерии аккумулируют до 96,2% ионов свинца из водного раствора. Из всех пигментов наименее чувствителен к воздействию свинца – хлорофилл *a*. Нитратная форма свинца интенсивнее угнетает пигментную систему цианобактерий, чем ацетатная.

Библиографический список

1. Bekasova O. D., Brekhovskikh A. A., Moskvina M. I. Participation of extracellular polysaccharides in detoxication of cadmium ions by cyanobacteria *Nostoc muscorum* // *Biophysics*. 2002. 47(3). P. 515–523.
2. Potential use cyanobacterial species in bioremediation of industrial effluents / S. R. Dubey, J. S. Mehra, P. Tiwari, A. J. Bishwas // *African Journal of Biotechnology*. 2011. 10(7). P. 1125–1132. doi: 10.3389/fpls.2016.00303
3. Cyanobacteria as test organisms and biosorbents / A. I. Fokina, S. Yu. Ogorodnikova, L. I. Domracheva, E. I. Lyalina, E. A. Gornostaeva, T. Ya. Ashihmina, L. V. Kondakova // *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 1. P. 77–85. doi: 10.7868/S0032180X16110034
4. Биоремедиационные возможности почвенных цианобактерий (обзор) / Л. И. Домрачева, Л. В. Кондакова, Л. Б. Попов, Ю. Н. Зыкова // *Теоретическая и прикладная экология*. 2009. № 1. С. 8–17. doi: 10.25750/1995-4301-2009-1-008-017
5. Прайс В. Аналитическая спектрометрия атомно-абсорбционная. М. : Мир, 1976. 355 с.
6. Брицке М. Э. Атомно-адсорбционный спектрохимический анализ. М. : Химия, 1982. 223 с.
7. Сиренко Л. А. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. Киев : Наукова думка, 1975. 247 с.
8. Vernon L. P. Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts. *Analytical Chemistry*. 1960. Vol. 32. P. 1144–1150.
9. Wettstein P. Von Chrotyll – letal und der submicroscopische Form wechsel der Plastiden // *Experimental Cell Research*. 1957. T. 12. S. 427–431.

10. Siegelman H. W., Kycia H. J. Algal biliproteins // Handbook of phycological methods: Physiological and biochemical methods / Edited by J. A. Hellebust and J. S. Craigie. Cambridge : Cambridge University Press, 1978. P. 71–79.

ВЛИЯНИЕ ХЕЛАТИРУЮЩИХ АГЕНТОВ НА ПРОЦЕССЫ ДЕНИТРИФИКАЦИИ В ПОЧВАХ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ РАЙОНОВ УГЛЕДОБЫЧИ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

*Е. П. Пуликова, А. В. Горовцов, Д. Г. Невидомская,
К. А. Казарян, Т. М. Минкина*

*Южный федеральный университет Академия биологии и биотехнологии
имени Д. И. Ивановского, epulikova@sfedu.ru*

Исследовано влияние хелатирующих агентов на процессы цикла азота при использовании методов ремедиации техногенных почв территорий угледобычи, загрязнённых тяжёлыми металлами (ТМ). На эффективность индуцированной фиторемедиации первостепенное влияние оказывает содержание биодоступных форм ТМ и комплекс почвенных свойств, в том числе микробиологические процессы. Наблюдается разнонаправленный эффект при внесении в техногенные почвы лимонной и щавелевой кислоты на активность нитритредуктаз. Внесение Na-ЭДТА и лимонной кислоты уменьшает активность медь-содержащих нитритредуктаз. Внесение щавелевой кислоты, наоборот, увеличивает их активность.

Ключевые слова: фиторемедиация, углеотвалы, CuNir , комплексообразующие соединения, нитратредукция, нитритредукция.

Угольная промышленность – мощный фактор антропогенного преобразования окружающей среды, который существенно трансформирует экосистемы. Возвышаясь на десятки метров, шахтные углеотвалы или терриконы формируют насыпные антропогенные элементы рельефа. В связи с этим, почвенный покров, прилегающий к отвалам, претерпевает кардинальные изменения [1]. Отвалы угольных шахт могут содержать избыточное количество токсичных металлов, таких как Zn, Cu, Ni, Pb, As, Cd и Cr [2]. С целью восстановления почвенного и растительного покрова в последнее время активно применяются различные методы ремедиации, в частности индуцированная фиторемедиация, принцип которой заключается в том, что комплексообразующее соединение переводит тяжёлые металлы (ТМ) в доступную форму, вследствие чего растения начинают эффективнее поглощать ТМ [3]. Использование комплексообразующих соединений в фиторемедиации способно снизить неблагоприятное влияние ТМ на почву. Однако, их применение может оказать неблагоприятное воздействие на растения и повысить токсичность почвы [4]. Некоторые низкомолекулярные хелатирующие соединения (лимонная, щавелевая, яблочная и прочие кислоты) на основе органических кис-

лот повышают ферментативную активность в почве, тем самым поддерживая бактериальные популяции и взаимодействие в ризосфере. Все эти механизмы ускоряют рост растений и увеличивают способность накапливать металлы [5]. Таким образом, при выборе комплексообразующих соединений важно ориентироваться не только на их эффективность и почвенные условия (рН, содержание органического вещества, гранулометрический состав (ГМС), поглощательная способность, засоление почвы и прочее), но также учитывать влияние на микробиологические процессы, в том числе и на процессы трансформации цикла азота. Важность данных исследований обусловлена тем, что для восстановления почвенного и растительного покрова необходимо поддерживать баланс процессов цикла азота. В связи с чем, изучение динамики N в загрязнённых почвах, подвергшихся рекультивации, может быть особенно информативным [6]. Дисбаланс в процессах трансформации азотистых соединений может оказать серьёзное влияние на почвы и сопряжённые среды. Например, нарушение процессов денитрификации может способствовать увеличению эмиссии закиси азота (парникового газа) в атмосферу [7]. Поэтому целью исследования было изучение внесения комплексообразующих соединений на процессы цикла азота (денитрификацию) в загрязнённых ТМ почвах углеотвалов территорий шахт Восточного Донбасса.

В закладке модельного эксперимента была использована почва подножья углеотвала шахты Аютинская (площадка А5), а именно верхний слой (0–20 см). Как было установлено ранее, почва данной площадки имеет высокий уровень содержания ТМ среди всех исследуемых площадок (валовое содержание Mn составило 3294,27 мг/кг, Zn – 305,33 мг/кг, Cr – 97,89 мг/кг). рН почвы составил – 7,3. Модельный эксперимент был заложен с целью определения наибольшей эффективности выбранных концентраций комплексообразующих соединений. В качестве контроля сравнения использовалась незагрязнённая фоновая почва чернозема обыкновенного карбонатного с особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Персиановская степь». В сосуды объёмом 250 мл с закрытой дренажной системой вносили по 200 г почвы, просеянной через сито с диаметром ячеек 2 мм. Почвенные образцы увлажняли и в подготовленную почву высевали смесь семян дикорастущих травянистых тест-растений, состоящую из 70% *Elytrigia repens* и 30% *Festuca pratensis* на глубину 1 см. После 2-х недель в почву вносили комплексообразователи: Na-ЭДТА, лимонная кислота, щавелевая кислота в соответствии со схемой опыта (табл. 1). Период вегетации травянистых растений в опыте составил 21 день.

Таблица 1

Схема опыта по внесению хелатирующих соединений

мМоль/кг хелатирующих агентов				
Контроль	1	2	5	10
	Na-ЭДТА			
	Лимонная к-та			
	Щавелевая к-та			

Активность нитратредуктазы и нитритредуктазы определяли по методу А. Ш. Галстян [8]. Для определения активности нитратредуктазы и нитритредуктазы в почву вносили растворы нитритов или нитратов, соответственно. Для определения активности *cuNir* нитритредуктазы был добавлен ингибитор *cd1Nir* нитритредуктазы – азид натрия [9]. По прошествии 24 часов инкубации при 30 градусах было учтено количество нитритов, образовавшихся из нитратов и количество нитритов, оставшихся после активности нитритредуктазы. Нитриты и нитраты в образцах почвы определяли в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.51-08 [10].

Аналитические исследования проводили в свежих образцах, в трёхкратной повторности. Для анализа данных использовали пакет программ STATISTICA 8. Для определения влияния комплексообразующих соединений на эффективность фиторемедиации на процессы денитрификации был применён однофакторный дисперсионный анализ ANOVA и корреляционный анализ Спирмена.

Скорость денитрификации, включающая восстановления нитратов и нитритов, выше в контрольной незагрязненной почве ООПТ «Персиановская степь» (17,5 и 8,2 мкг мкг N-NO₂/г абс. сух. почвы, соответственно), по сравнению с процессами, наблюдаемыми в почве углеотвала (10,1 и 3,86 мкг N-NO₂/г абс. сух. почвы), которая не подвергалась обработке хелатирующими агентами. При добавлении в загрязнённую почву Na-ЭДТА и лимонной кислоты происходит достоверное повышение активности нитратредукции и нитритредукции, особенно при добавлении 1 мМоль всех хелаторов и 10 мМоль лимонной кислоты (18,1–21,5 и 10,9–14,0 мкг N-NO₂/г абс. сух. почвы, соответственно) (рис. 1). При постепенном увеличении концентрации хелатирующих соединений в вариантах обработки Na-ЭДТА и лимонной кислотой происходило резкое снижение активности денитрификации и последующее повышение (для Na-ЭДТА – 5 мМоль, для лимонной кислоты – 2 мМоль). Следует отметить, что соотношение активностей нитратредукции к нитритредукции достоверно ниже в варианте обработки почвы лимонной кислотой, что свидетельствует о том, что нитриты в меньшей степени будут накапливаться в почве.

При добавлении таких хелатирующих веществ как Na-ЭДТА и лимонная кислота не происходит достоверного изменения активности *cuNir* относительно почвенного образца углеотвала без добавления хелаторов. Минимальная активность нитритредуктазы, содержащей Cu, наблюдается в почве при добавлении 10 мМоль Na-ЭДТА (0,073 мкг N-NO₂/г абс. сух. почвы). Стоит отметить, что активность *cuNir* достоверно повышается при добавлении щавелевой кислоты в почву, особенно при 10 мМоль (4,75 мкг N-NO₂/г абс. сух. почвы) (рис. 2). Данный факт косвенно подтверждает, что с внесением щавелевой кислоты увеличивается эмиссия закиси азота, поскольку только у 30% бактерий, имеющих фермент *cuNir*, есть фермент редуктаза закиси азота. Это предполагает, что организмы, несущие *cuNir* нитритредуктазу, с меньшей ве-

роятностью проводят полную денитрификацию и, следовательно, вносят большой вклад в эмиссию N_2O [11].

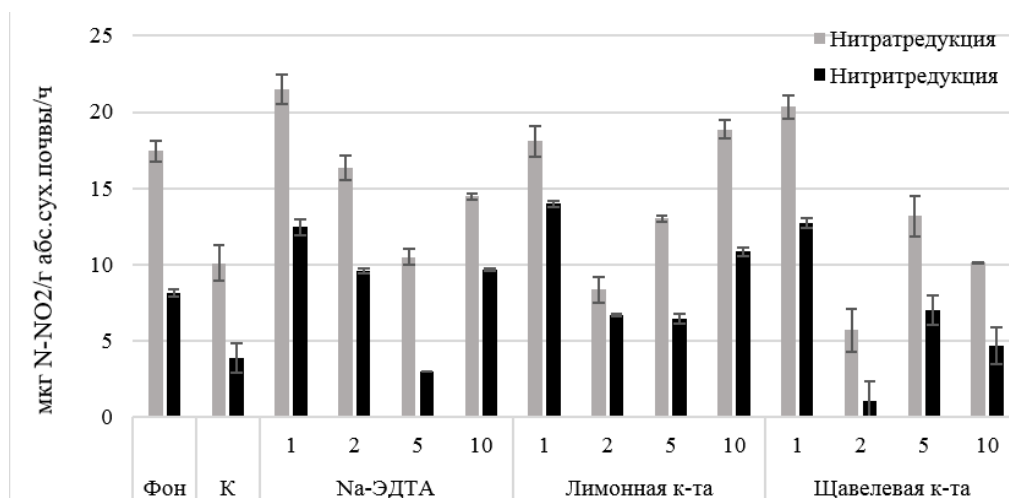


Рис. 1. Активность денитрификации в почвах с разной обработкой комплексообразующими соединениями: К – загрязнённая почва; 1, 2, 5, 10 – мМоль/кг почвы комплексообразующих соединений

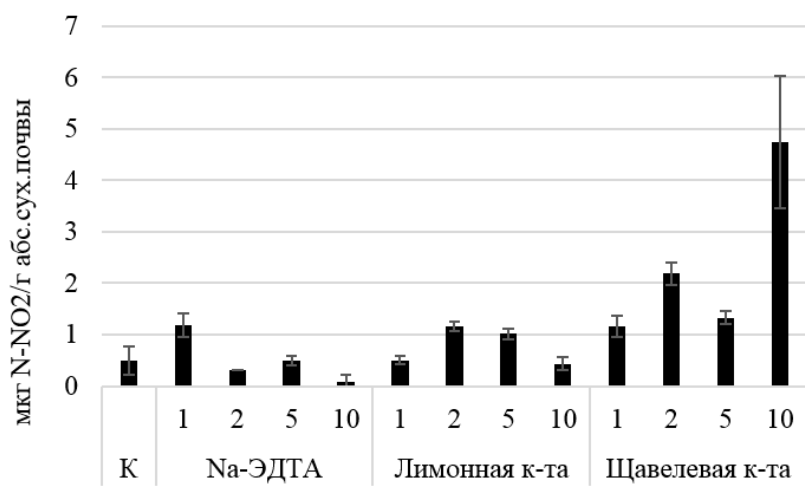


Рис. 2. Активность cuNir в почвах с разной обработкой комплексообразующими соединениями: К – загрязнённая почва; 1, 2, 5, 10 – мМоль/кг почвы комплексообразующих соединений

Также отмечается достоверное повышение % активности cuNir в процесс денитрификации при добавлении щавелевой кислоты в почву (12–43,6%). В остальных вариантах обработки достоверной разницы выявлено не было. Относительно значений в контрольном образце было обнаружено снижение % активности cuNir в почвах с 2–10 мМоль Na-ЭДТА, 1,5 и 10 мМоль лимонной кислоты (рис. 3). Снижение % активности cuNir нитритредуктазы при добавлении ЭДТА связано с тем, что ЭДТА является медь-хелатирующим соединением, а медь входит в состав фермента cuNir [12, 13].

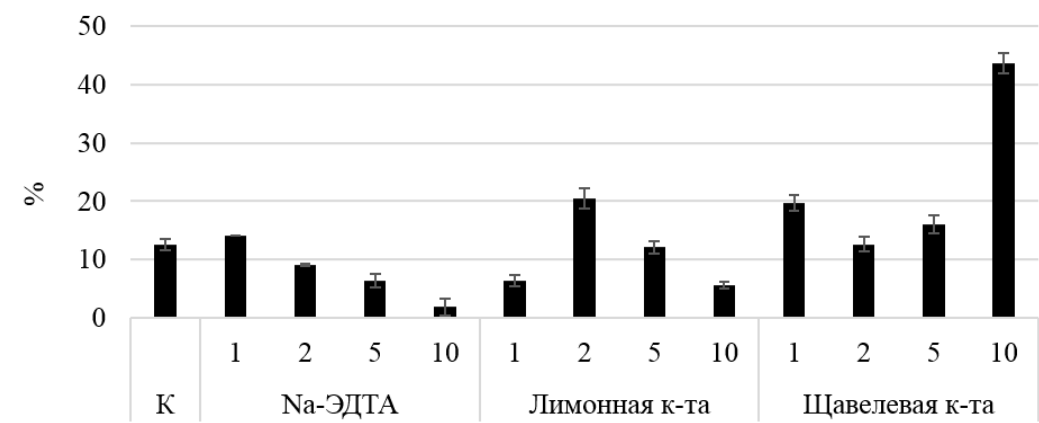


Рис. 3. Доля активности cuNir в почвах с разной обработкой комплексообразующими соединениями: К – загрязнённая почва; 1, 2, 5, 10 – мМоль/кг почвы комплексообразующих соединений

Таким образом, применение Na-ЭДТА и лимонной кислоты в целях фиторемедиации приводит к снижению активности медь-содержащей нитриредуктазы, что снижает эмиссию закиси азота в атмосферу. Добавление щавелевой кислоты, наоборот, увеличивает активность этого фермента.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 20-55-05014 Арм_а и программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

Библиографический список

1. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: A review / Y. Feng, J. Wang, Z. Bai, L. Reading // *Earth-Science Reviews*. 2019. Vol. 191. P. 12–25.
2. Petrographic, mineralogical and geochemical characterization of the Serrinha coal waste pile (Douro Coalfield, Portugal) and the potential environmental impacts on soil, sediments and surface waters / J. Ribeiro, E. F. Da Silva, C. Ward, D. Flores // *International Journal of Coal Geology*. 2010. Vol. 83, No. 4. P. 456–466.
3. Phytoremediation of copper-contaminated soil by *Artemisia absinthium*: Comparative effect of chelating agents / K. A. Ghazaryan, H. S. Movsesyan, T. M. Minkina, D. G. Nevidomskaya, V. D. Rajput // *Environmental Geochemistry and Health*. 2022. Vol. 44. No. 4. P. 1203–1215.
4. Interaction of organic acids and pH on multi-heavy metal extraction from alkaline and acid mine soils / Y. Z. Ding, Z. G. Song, R. W. Feng, J. K. Guo // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2014. Vol. 11, No. 1. P. 33–42.
5. Harmon S. M. Biodegradable Chelate-Assisted Phytoextraction of Metals from Soils and Sediments // *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 2022. P. 100677.
6. Kumari S., Maiti S. K. Nitrogen recovery in reclaimed mine soil under different amendment practices in tandem with legume and non-legume revegetation: A review // *Soil Use and Management*. 2022. Vol. 38, No. 2. P. 1113–1145.
7. Beyond denitrification: the role of microbial diversity in controlling nitrous oxide reduction and soil nitrous oxide emissions / J. Shan, R. A. Sanford, J. Chee-Sanford, S. K. Ooi, F. E. Löffler, K. T. Konstantinidis, W. H. Yang // *Global change biology*. 2021. V. 27. № 12. P. 2669–2683.
8. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.

9. Hochstein L. I., Tomlinson G. A. The enzymes associated with denitrification // Annual Reviews in Microbiology. 1988. Vol. 42. No. 1. P. 231–261.
10. ПНД Ф 16.1:2.2.2:3.51-08 Методика выполнения измерений массовой доли нитритного азота в почвах, грунтах, донных отложениях, илах, отходах производства и потребления фотометрическим методом с реактивом Грисса. Москва, 2008.
11. Graf D. R. H., Jones C. M., Hallin S. Intergenomic comparisons highlight modularity of the denitrification pathway and underpin the importance of community structure for N₂O emissions // PloS one. 2014. Vol. 9. No. 12. P. e114118.
12. Shapleigh J. P., Payne W. J. Differentiation of c, d 1 cytochrome and copper nitrite reductase production in denitrifiers // FEMS microbiology letters. 1985. Vol. 2. No. 3. P. 275–279.
13. Kubota Y., Takaya N., Shoun H. Membrane-associated, dissimilatory nitrite reductase of the denitrifying fungus *Cylindrocarpum tonkinense* // Archives of microbiology. 1999. Vol. 171. No. 3. P. 210–213.

РОСТ *ASPERGILLUS NIGER* AM1 В КУЛЬТУРАЛЬНОЙ СРЕДЕ С ДВУМЯ ТОКСИКАНТАМИ

А. З. Миндубаев¹, Й. А. Акосах², Е. К. Бадеева³

*¹ Институт энергетики и перспективных технологий ФИЦ
Казанского научного центра РАН,*

² ГАОУ ВПО Казанский (Приволжский) федеральный университет,

*³ Институт органической и физической химии имени А. Е. Арбузова –
обособленное структурное подразделение Федерального государственного
бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской академии наук»,
mindubaev-az@yandex.ru, akosah2005@gmail.com, ybadeev.61@mail.ru*

Представленный в работе эксперимент стал первой попыткой количественной оценки биodeградации белого фосфора. Хотя искомый результат еще не был достигнут, эксперимент позволил наблюдать рост *Aspergillus niger* AM1 в присутствии двух токсикантов одновременно – белого фосфора и метиленхлорида.

Ключевые слова: белый фосфор, метиленхлорид, токсичность, синергизм, *Aspergillus niger*.

Несмотря на длительность исследования биodeградации белого фосфора, до сих пор результаты носили преимущественно качественный характер. Мы наблюдали и описывали рост микроорганизмов в культуральных средах, содержащих белый фосфор, причем в некоторых случаях он являлся единственным источником биогенного элемента [1, 2]. Однако, необходимо дальнейшее количественное исследование биodeградации белого фосфора. Для этого был поставлен эксперимент, в котором предполагался отбор проб для анализа фосфат-ионов – скорость их накопления пропорциональна скорости окисления белого фосфора. К сожалению, из-за ошибки в подборе растворителя главная цель эксперимента не была достигнута. Тем не менее, результа-

том стало наблюдение роста культуры черного аспергилла в присутствии двух токсичных ксенобиотиков одновременно – белого фосфора и метилхлорида, который использовали в качестве растворителя.

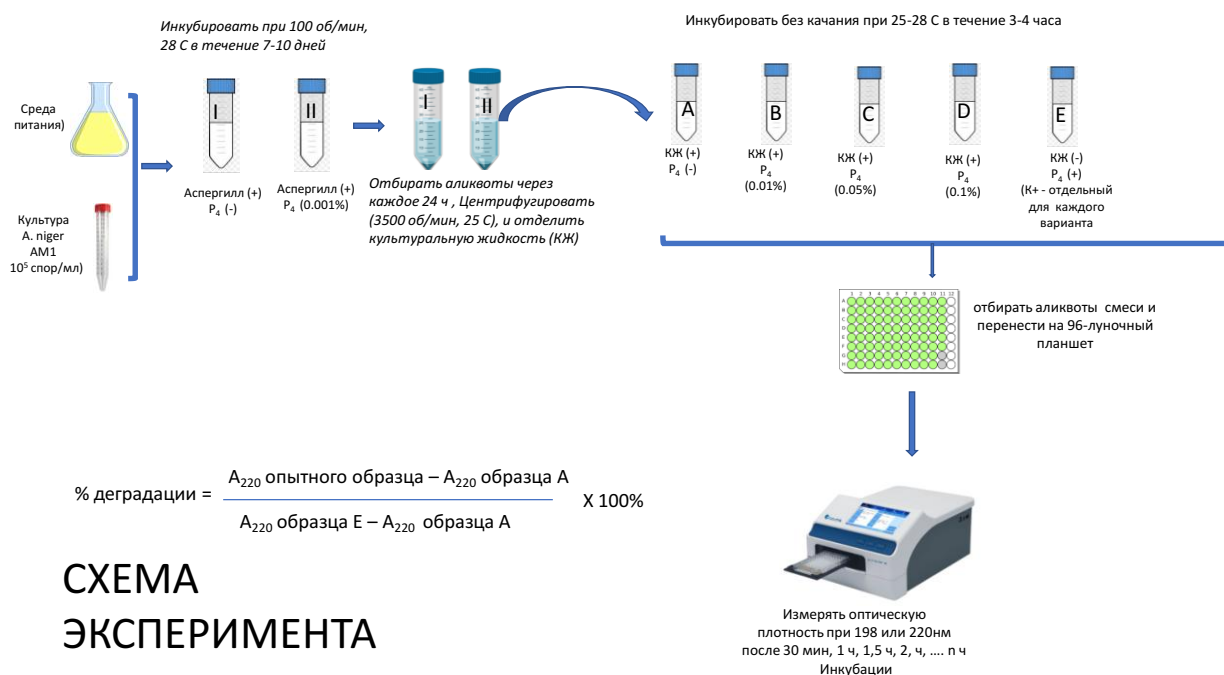


СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА

Рис. Схема посева

В качестве растворителя для белого фосфора использовали метилхлорид. Навеска P_4 0,07 г, объем растворителя 20 мл. Перед растворением навеску высушили 96% этанолом. Растворение вели в ванне «Сапфир» (5 минут при комнатной температуре).

Состав культуральной среды (в перерасчете на 1 л): глюкоза – 5 г, $(NH_4)_2SO_4$ – 2,64 г, $MgSO_4$ – 0,49 г, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,02 г, $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ – 0,15 г, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,27 г, и белый фосфор в различных концентрациях. В контрольную среду в качестве источника фосфора вносили KH_2PO_4 – 2,38 г.

Культуру *Aspergillus niger* AM1 выращивали при 28 °C, на качалке, в закрытых фальконах.

Перед посевом создали точную концентрацию спор в суспензии в физиологическом растворе, $1 \cdot 10^5$ КОЕ. Это позволило более точно оценивать массу мицелия в среде, и соответственно, скорость метаболизма белого фосфора (рис.).

1 мл исходного раствора P_4 в CH_2Cl_2 + 18 мл среды + 1 мл суспензии спор.

1 мл 1/5 исходной концентрации P_4 в CH_2Cl_2 + 18 мл среды + 1 мл суспензии спор.

1 мл 1/10 исходной концентрации P_4 в CH_2Cl_2 + 18 мл среды + 1 мл суспензии спор.

1 мл исходного раствора P_4 в CH_2Cl_2 + 18 мл среды = 1 мл суспензии спор.

18 мл среды + 1 мл суспензии спор.

1 мл чистого CH_2Cl_2 + 18 мл среды + 1 мл суспензии спор, без источников фосфора. Опыты проводились в трехкратной повторности.

Фальконы плотно заматывались пленкой Parafilm во избежание испарения растворителя. Предполагалось через определенные промежутки времени отбирать аликвоты культуральных сред для измерения концентрации в них фосфат-ионов. Однако, поскольку рост происходил недостаточно интенсивно, это не было сделано.

Метиленхлорид в качестве растворителя для белого фосфора мы выбрали потому, что более раннее исследование, описанное в [3], продемонстрировало отсутствие токсичности для исследуемого штамма. Кроме того, в отличие от растительного масла, которое также нетоксично и хорошо растворяет белый фосфор, метиленхлорид не содержит фосфор в своем составе. Эфиры фосфорной кислоты в составе фосфолипидов растительных масел создают фоновую концентрацию фосфата в анализируемых пробах, затрудняющую анализ биodeградации P_4 . Как растительное масло, так и метиленхлорид плохо смешиваются с водой, однако плотность дихлорметана выше, и он оседает на дно емкости.

Через четверо суток после посева рост *A. niger* AM1 начал наблюдаться в контроле с фосфатом. Следует отметить, что метиленхлорид в этот вариант посева не добавлялся. Через шесть суток появился рост в варианте без источников фосфора. В опыте появились хлопья, похожие на мицелий, но очень мелкие и идентифицировать их еще нельзя. Достоверный рост стал наблюдаться через тринадцать суток в варианте опыта с самой малой концентрацией белого фосфора. Через четырнадцать суток в этих средах стал формироваться мицелий. Через двадцать четыре дня появился рост в варианте опыта со средней концентрацией P_4 .

Наконец, на сорок пятые сутки отмечен рост в среде с самой высокой концентрацией белого фосфора. В целом, эксперимент показал, что вывод об отсутствии токсичности дихлорметана для *A. niger* AM1 ошибочный. В варианте посева с CH_2Cl_2 без белого фосфора угнетение роста было более сильным, чем в негативном контроле без источников фосфора. Вероятно, этот результат объясняется очень высокой летучестью хлористого метилена: он быстро испарился из неплотно закрытого планшета, поэтому не оказал токсическое воздействие.

Не смотря на то, что эксперимент в целом был признан неудачным, он позволил собрать интересные данные [4]. Результат лишний раз продемонстрировал высочайшую толерантность *A. niger* AM1. Этот штамм смог расти в присутствии двух ядовитых ксенобиотиков одновременно – белого фосфора и дихлорметана, способных проявлять синергизм токсического действия. Правда, рост наблюдался крайне медленный, и гриб не перешел к размножению, формирование конидий не наблюдалось. Но это вполне закономерно в столь экстремальных условиях существования.

Микроорганизмы отличаются от других форм жизни разнообразием метаболических путей, широчайшими приспособительными адаптациями, высокими темпами эволюционного процесса, позволяющими им приспосабливаться к наиболее неблагоприятным условиям существования [5]. Описанный эксперимент является еще одним примером приспособления микроорганизма к крайне неблагоприятным условиям.

Библиографический список

1. Токсичность производных борной и дитиофосфорной кислот для *Aspergillus niger* AM1. Солюбилизация фосфата данным штаммом / А. З. Миндубаев, Э. В. Бабынин, Г. Р. Ахмедова, Д. Д. Антех // Бутлеровские сообщения. 2022. Т. 70. № 6. С. 55–70. doi: 10.37952/ROI-jbc-01/22-70-6-55
2. Второе десятилетие исследований биodeградации / А. З. Миндубаев, Э. В. Бабынин, Е. К. Бадеева, С. Т. Минзанова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2022. Кн. 2. С. 128–132.
3. Влияние белого фосфора на жизнеспособность *Aspergillus niger* AM1 и AM2. Происхождение данных штаммов / А. З. Миндубаев, Э. В. Бабынин, А. Г. Даминова, Е. К. Бадеева, Е. В. Горбачук, И. С. Низамов, С. Т. Минзанова, Л. Г. Миронова, Й. А. Акосах // Бутлеровские сообщения. 2021. Т. 65. № 3. С. 25–48. doi: 10.37952/ROI-jbc-01/21-65-3-25
4. Рост *Aspergillus niger* AM1 в присутствии двух токсикантов / А. З. Миндубаев, Й. А. Акосах, Е. К. Бадеева // Экологический вестник Северного Кавказа. 2022. Т. 18. № 3. С. 46–51.
5. Rampelotto P. H. Extremophiles and Extreme Environments // Life. 2013. Vol. 3. No. 3. P. 482–485. doi: 10.3390/life3030482

СЕКЦИЯ 5

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ОСОБЕННОСТИ АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СТЕБЛЯ *CENOLOPHIUM DENUDATUM* (HORNEM.) TUTIN. В СВЯЗИ С МЕСТООБИТАНИЕМ

К. Д. Белова

Вятский государственный университет, korosova2013@yandex.ru

В статье представлены анатомические особенности надземной оси *Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin. с биометрическими показателями слагающих ее структур, позволяющие выявить приспособительные черты к условиям переменного увлажнения почв в его естественных местообитаниях.

Ключевые слова: *Cenolophium denudatum*, проводящие ткани, колленхима, переменное увлажнение.

Изучение приспособительных возможностей видов, встречающихся в различных местообитаниях, несомненно, важно для выявления конкретных их черт. С помощью современных технологий, в том числе благодаря высоко развитой микроскопии, можно обнаружить адаптации на клеточном и тканевом уровнях. *Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin (пусторёбрышник обнажённый) – объект этого исследования – многолетнее, лекарственное [1] растение, встречающееся в местах с переменным увлажнением субстрата [2]. Данное сообщение посвящено анатомическому строению стебля *C. denudatum* для выявления адаптаций к условиям среды обитания.

Материалом послужили фиксированные образцы побеговых систем *C. denudatum*, собранные в июне 2017 г. в окрестностях г. Кирова (сл. Макарье) на пойменном луге. Для изучения внутреннего строения выполнили поперечные срезы стебля в базальной части и его поверхности. Анализ временных препаратов производили с помощью бинокулярного микроскопа Motic BA300 со встроенной камерой. Для лучшего микроскопирования некоторые из полученных срезов окрашивали флороглюцином с соляной кислотой [3]. Клеточные структуры были измерены с использованием программного обеспечения, разработанного Г. Я. Кантором. Все полученные данные статистически обработаны.

На поперечном сечении стебель округлой формы с небольшими гранями. В его структуре хорошо просматриваются следующие анатомо-топографические зоны: покровная ткань, первичная кора и центральный ци-

линдр. Покровная ткань представлена эпидермой, состоящей из плотно прилегающих друг к другу клеток вытянутой формы, покрытых слоем выпуклой кутикулы (рис. 1). Средняя толщина эпидермы стебля варьирует от 20 до 27 мкм, а средняя длина и ширина эпидермальных клеток составляют $61,60 \pm 13,43$ и $24,30 \pm 5,85$ мкм соответственно.

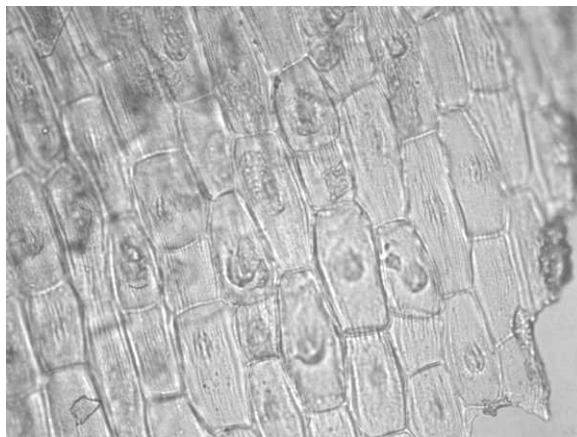


Рис. 1. Эпидерма стебля *Cenolophium denudatum* (увел. 40×10)

Под эпидермой располагается первичная кора (толщина $207,50 \pm 38,68$ мкм), сложенная из округлых паренхимных клеток. В гранях над проводящими пучками островками лежит угловая колленхима (рис. 2). Ограничивает первичную кору эндодерма из одного ряда округлых клеток, средние размеры которых достигают $24,30 \pm 4,57$ мкм (табл.). Субэпидермально также располагаются два–три слоя из плотно сомкнутых толстостенных клеток [4].

Таблица

Значения биометрических показателей стебля *Cenolophium denudatum*

Параметры	Размеры, мкм
Толщина эпидермы	$22,40 \pm 2,84$ 20,0–27,0
Толщина первичной коры	$207,50 \pm 38,68$ 130,0–260,0
Толщина эндодермы	$24,30 \pm 4,57$ 19,0–30,0
Диаметр клеток сердцевинной паренхимы	$36,80 \pm 10,37$ 21,0–55,0
Диаметр сосудов ксилемы	$27,70 \pm 8,30$ 15,0–40,0

Большую часть стебля *C. denudatum* на поперечном сечении занимает стела. В центральном цилиндре свободно лежат открытые полные коллатеральные сосудисто-волокнистые пучки (рис. 2). В состав флоэмы входят хорошо развитая лубяная паренхима и ситовидные трубки с клетками-спутницами. Ксилема состоит из крупных сосудов, средний диаметр которых $27,70 \pm 8,30$ мкм. Между проводящими тканями располагается камбий из 4–5 слоев мелких плотно примыкающих друг к другу клеток прямоугольной

формы. Проводящие пучки погружены в широкое кольцо механической ткани. По данным С. Е. Петровой [4] в перимедуллярной зоне имеются медуллярные проводящие пучки, флоэма которых часто оказывается полностью окруженной элементами ксилемы, и пучки становятся амфивазальными.

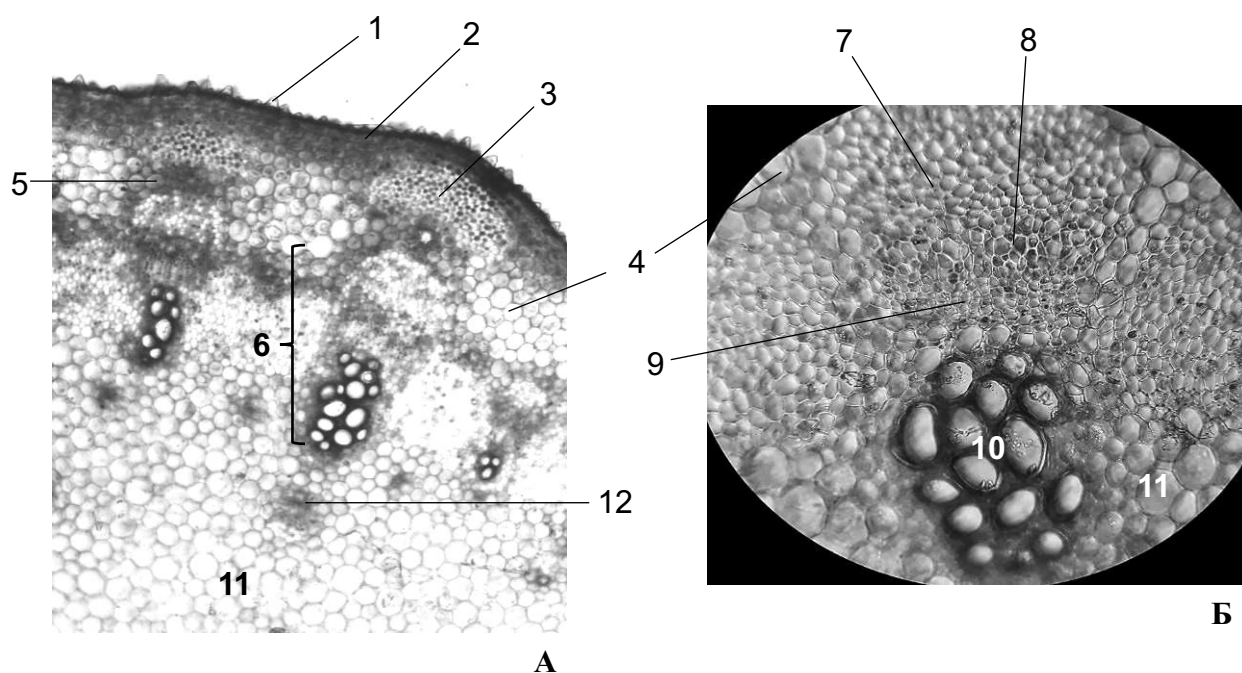


Рис. 2. Поперечный срез в основании стебля *Cenolophium denudatum*:
 А – сектор (увел. 10×10); Б – проводящий пучок (увел. 40×10); 1 – кутикула;
 2 – эпидерма; 3 – уголковая колленхима; 4 – паренхима коры; 5 – эндодерма;
 6 – проводящий пучок; 7 – лубяная паренхима; 8 – ситовидная трубка;
 9 – камбий; 10 – ксилема; 11 – сердцевинная паренхима; 12 – смоляной канал

Центральную часть стелы составляет сердцевина из округлых паренхимных по форме клеток диаметром от 15 до 40 мкм. В ней хаотично разбросаны смоляные каналы, которые образуют секреторно-выделительную систему. Похожее строение смоляных ходов имеют и подземные органы *C. denudatum* [5].

Рассмотрев строение стебля *C. denudatum* на микроскопическом уровне, можно выделить некоторые адаптационные черты: хорошо развитые вторичные проводящие ткани, обеспечивающие вышележащие ткани и органы необходимыми минеральными элементами и водой; наличие колленхимы, что обеспечивает поддержание надземных органов в пространстве, не препятствуя их росту; плотно примыкающие эпидермальные клетки с выпуклой кутикулой, которые предохраняют надземные органы от излишних потерь влаги; наличие секреторной системы в виде смоляных ходов. Полученные результаты дополняют данные об анатомо-морфологической структуре пусто-рёбрышника обнажённого и имеют важное значение в понимании приспособленности вида к условиям его местообитания.

Библиографический список

1. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 3. Семейства Fabaceae – Apiaceae / отв. ред. А. Л. Буданцев. СПб.; М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2010. 601 с.
2. Тарасова Е. М. Флора Вятского края. Ч. 1. Киров : Кировская областная типография, 2007. 440 с.
3. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы / Р. П. Барыкина, Т. Д. Веселова, А. Г. Девятков и др. М. : Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
4. Петрова С. Е. Биоморфология, экология и структура ценопопуляций *Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin (Apiaceae) на побережье Белого моря // Вестник СПбГУ. 2013. Сер. 3. Вып. 4. С. 34–48.
5. Белова К. Д. Особенности анатомического строения подземных органов *Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin // Общество. Наука. Инновации (НПК-2022) : сб. статей XXII Всерос. науч.-практ. конф. В 2-х томах. Киров, 11–29 апреля 2022 года. Т. 2. Киров : Вятский государственный университет, 2022. С. 8–13.

СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ *CUMINUM CUMINUM* L. В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА

О. С. Абдураимов¹, А. В. Махмудов¹,
Ш. Б. Эрдонов², А. Л. Алламуратов¹, О. Т. Маматкосимов¹

¹ Институт ботаники Академии наук Республики Узбекистан,
ozodbek88@bk.ru

² Ташкентский ботанический сад при институте ботаники АН РУз,
erdonov.sherzod@mail.ru

В статье представлены данные результатов исследований семенной продуктивности *Cuminum cuminum* L. в разных экологических условиях Узбекистана. Наблюдения показали отличия в сроках наступления фаз сезонного развития и морфометрических показателях. Бутонизация у растений в условиях интродукции в зависимости от погодных условий года происходит в первой декаде мая, иногда – в середине мая. Плодоношение – в первой декаде июня. Формирование семян продолжается около 8–11 дней. В каждом вислоплоднике образуется около 15–25 шт. семян.

Ключевые слова: *Cuminum cuminum* L., интродукция, богарные земли, ботанический сад, плодоношение, семенная продуктивность.

Cuminum cuminum L. – травянистое растение из семейства зонтичные (Apiaceae), произрастающее в Ирано-Туранском регионе. Встречаются также и другие названия растения: зэра, римский тмин, кмин, кмин тминовый, кумин, каммун [1]. Его семена используются в кухнях многих культур как в цельном, так и в молотом виде. Считается, что *C. cuminum* используется в традиционной медицине, хотя нет убедительных доказательств его безопасности или эффективности в качестве терапевтического средства [2].

Индия является крупнейшим в мире производителем *C. cuminum*: на ее долю приходится около 70%. В 2020–2021 финансовом году Индия произвела 856 000 тонн семян этого растения. Другими крупными странами-производителями кумина являются Сирия (13%), Турция (5%), ОАЭ (3%) и Иран [4]. По данным Таможенного комитета Республика Узбекистан импортирует более 900 тонн чернушки посевной (*Nigella sativa* L.), льна посевного (*Linum usitatissimum* L.) и зиры (*C. cuminum*) в год на сумму более одного миллиона долларов США. Создание культурных плантаций и разработка эффективных методов его выращивания, подготовка ориентированных на экспорт продуктов является актуальной.

C. cuminum вырастает в высоту до 30–50 см, и его собирают вручную. Это однолетнее травянистое растение с тонким, голым стеблем диаметром 3–5 см. Каждый побег имеет от двух до трех осей. Все оси достигают одинаковой высоты, и растение имеет разветвленную побеговую систему. Стебель окрашен в серый или темно-зеленый цвет. Листья 5–10 см в длину, перисто-рассеченные или дважды перисто-рассеченные на нитевидные сегменты. Цветки мелкие, белые или розовые, собраны в зонтики.

Для *C. cuminum* применяют два способа посева: разброс и рядовой. При первом способе посева поле делится на грядки, и семена равномерно разбрасываются по этой грядке. После этого их засыпают землей с помощью граблей. Для рядового посева крюками готовят неглубокие борозды на расстоянии от 20 до 25 см. Затем семена помещают в эти борозды и засыпают землей. Рядовой посев имеет преимущества для межкультурных операций, таких как прополка, рыхление или опрыскивание. Рекомендуемая глубина посева составляет 1–2 см, а рекомендуемая плотность посева – около 120 растений на м². Потребность *C. cuminum* в воде ниже, чем у многих других видов. Несмотря на это, кумин часто поливают после посева так, чтобы влаги было достаточно для развития растений. Количество и частота поливов зависят также и от климатических условий [3].

Особенности сезонного развития растений изучали в двух условиях (рис. 1): 1) в трех богарных зонах республики: на территории лесного хозяйства Пишагар (высота 702 м над ур. м.), на землях фермерского хозяйства Мальгузар (660 м) – обе находятся на хребте Мальгузар; на богарных землях Хатырчинского района Навоийской области (718 м); 2) в Ташкентском ботаническом саду им. акад. Ф. Н. Русанова (473,3 м).



Рис. 1. Территория исследований

Посев семян на богарных землях проводили в первой декада февраля, в ботаническом саду – в середине февраля. Глубина заделки семян 1,5–2 см. Фенологические наблюдения проводили каждые 3 дня на протяжении с начала февраля до конца июня по общепринятой методике для однолетних растений [5]. Результаты исследований статистически обработаны по методике П. Ф. Рокицкого [6] и с использованием программы Past 3.

Цветки у *C. sutinut* начинают закладываться в конце первой декады мая. Растения в это время в условиях богарных земель достигают почти одинаковой высоты 25–28 см, в ботаническом саду – 28–32 см. Число листьев в среднем 30–40. Корневая система представлена главным корнем, длина которого составляет 10–14 см и 6–8 боковыми корнями второго и третьего порядков (рис. 2.).



А



Б

Рис. 2. Цветение *Cytisus sutinut*:
А – богарные земли; Б – ботанический сад

Плодоношение в богарных зонах наблюдается в начале июня, в ботаническом саду – во второй декаде июня (рис. 3). Созревание плодов коррелирует с процессом формирования семян. Срок формирования семян около 8–11 дней. В каждом вислоплоднике образуются около 15–25 шт. семян, в размере 0,1–0,2 мм.



Рис. 3. Плодоношение *Cuminum cyminum*:
А – богарные земли; Б – ботанический сад

Реальная семенная продуктивность одного растения составляет в среднем: в условиях ботанического сада – $71,1 \pm 3,68$ шт.; на богарных землях – в Мальгузаре $54,1 \pm 4,26$ шт., Пишагаре $51,8 \pm 3,68$ шт., Хатырчинском районе $56,1 \pm 3,94$ шт. Это объясняется отличием климатических условий (ОВВ, t° воздуха, t° поверхности почвы) и по степени покрытия сорняками (рис. 4).

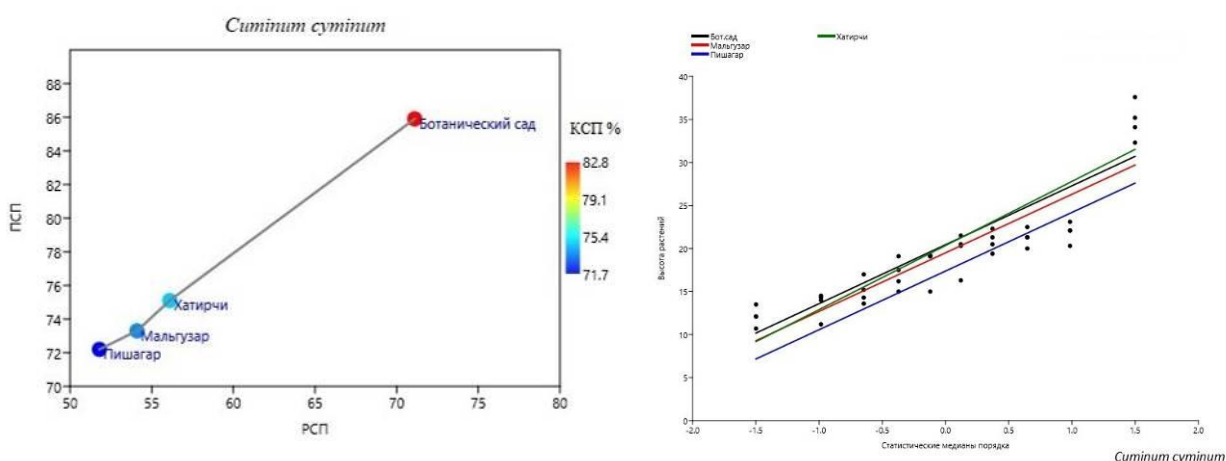


Рис. 4. Семенная продуктивность *Cuminum cyminum* в разных условиях Республики Узбекистан

В течение вегетационного периода проводили интродукционные испытания *C. cyminum* в разных условиях Республики Узбекистан. Изучаемый вид за весь период исследований проходил полный цикл развития, достигал генеративной стадии, завязывал плоды и образовывал жизнеспособные семена.

Наблюдения показали отличия в сроках наступления фаз сезонного развития и морфометрических показателях. Бутонизация *C. cuminum* в условиях интродукции начинается в первой декаде мая, иногда – в середине мая в зависимости от погодных условий года. Наиболее раннее зацветание отмечено 18 мая, наиболее позднее – 29 мая. Плодоношение происходит с начала и до конца июня. Продолжительность вегетации на богарных землях 134–138 дней, в ботаническом саду – 140–145 дней.

Таким образом, полученные результаты показали возможность выращивания *C. cuminum* в богарных зонах Республики Узбекистан для получения качественного сырья.

Данное исследование проводится в рамках государственного прикладного проекта № А-ФА-106 (2021–2023 гг.) «Создание плантаций чернушки посевной (Nigella sativa), льна посевного (Linum usitatissimum) и элвендии персидской (Elwendia persica) на богарных землях адырных зон Республики».

Библиографический список

1. Kislev M. E., Hartmann A., Galili E. Archaeobotanical and archaeoentomological evidence from a well at Atlit-Yam indicates colder, more humid climate on the Israeli coast during the PPNC period // Journal of Archaeological Science. 2004. Vol. 31. Is. 9. P. 1301–1310. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2004.02.010>
2. The Plants Database *Cuminum cyminum* L. USDA, NRCS. 2005. National Plant Data Center, Baton Rouge, LA 70874-4490 USA (July 2009). <http://plants.usda.gov>
3. Divakara Sastry E.V. Cumin, Fennel and fenugreek // Encyclopedia of Life Support Systems. 2013. P. 1–10. <https://www.eolss.net/sample-chapters/c10/E1-05A-50-00.pdf>
4. Market analysis of cumin seed / A. Rahman, D. Akbar, S. Bhattarai, M. Thomson, T. Trotter, S. Timilsina // CQ University Australia. 2021. P. 1–14. https://acquire.cqu.edu.au/articles/report/Market_analysis_of_cumin_seed/15079260
5. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск : Наука, 1974. 152 с.
6. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. М. : Колос, 1973. 327 с.

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЯТРЫШНИКА ПЯТНИСТОГО (*ORCHIS MACULATA* L.)

Н. С. Архипова, А. Г. Измайлова
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
NSArhipova@kpfu.ru

В статье представлены результаты исследований ценопопуляций ятрышника пятнистого (*Orchis maculata* L.). Определены морфометрические характеристики побегов растений и рассчитаны коэффициенты вариации каждого признака. Выявлена зависимость между уровнем изменчивости и экологическими условиями произрастания растений.

Ключевые слова: биоиндикация, вариабельность, лекарственное растение, антропогенное воздействие, ценопопуляция.

Ценопопуляции некоторых видов лекарственных растений испытывают все возрастающее антропогенное воздействие, а в ряде экосистем находятся на грани исчезновения. В связи с этим оценка их состояния является основой любого популяционного исследования. Одним из таких методов оценки является анализ изменчивости морфологических параметров [1, 2].

Исследование проведено в июне 2022 г. на Северо-Кавказской астрономической станции (СКАС) Казанского федерального университета (КФУ), расположенной в Республике Карачаево-Черкесия, в пределах двух участков. 1) Пуп Келдыша (43°38'59"с. ш. и 41°26'12"в. д., высота 2045 м над ур. моря). Тип объекта: холм. Крутизна южного и северного склонов 23°, западного от 22°, восточного от 21°. Верхняя часть холма, а также северный и восточный склоны покрыты травянистой растительностью. В то время как низменная часть южного склона и весь западный облесены. Склоны холма испытывают антропогенную нагрузку, как ежедневный выпас скота и прокладка туристических троп.

2) Территория СКАС КФУ (43°38'59" с. ш. и 41°25'33" в. д., высота 2026 м над ур. моря). Тип объекта: холм. Равнинная часть в большей степени покрыта травянистой растительностью. Южная часть облесена полностью. Антропогенные факторы: территория является местом проведения летней практики студентов. В последние годы в республике активно развивается туризм, что также повышает уровень антропогенной нагрузки на территорию.

Объект исследования – ятрышник пятнистый (*Orchis maculata* L.) из семейства орхидные. Это многолетнее травянистое лекарственное и декоративное растение с красивыми пахучими цветками. Высота облиственного побега 10–50 см. Листья широколанцетные или линейно-широколанцетные, обхватывают стебель с сужением в черешок. Отличительной особенностью являются коричнево-бурые пятна на листьях, именно из-за них ятрышник в народе называют «кукушкиными слёзками». Подземные органы имеют утолщения в виде двух клубней. Цветки небольшие, от лилово-розовых до тёмно-вишнёвых, собраны в длинное многоцветковое колосовидное соцветие длиной 6–9 (15) см. Большинство видов ятрышников размножаются преимущественно семенами [3, 4].

Корнеклубни ятрышника содержат слизь (47–50%), состоящую из высокомолекулярного полисахарида маннана, крахмал (27–31%), декстринов (до 13%), пентозаны. Трава *Orchis maculata* содержит гликозид лороглоссин. Также в ятрышнике найдены сахароза, горькие вещества, эфирное масло, белки и другие вещества. В официальной Фармакопее X издания упоминаются молодые (однолетние) клубни для приготовления салепы, используемого в качестве обволакивающего средства при острых и хронических заболеваниях дыхательных путей, при воспалениях желудочно-кишечного тракта. Салеп препятствует всасыванию вредных веществ из желудочно-кишечного тракта, поэтому его слизь пьют и при острых отравлениях. В народной медицине отвар или настой молодых клубней, порошок из старых материнских клубней

корней, а также семена ятрышника пятнистого находят широкое применение [4–6]. Местное население активно заготавливает это растение.

Морфометрические параметры растений исследованы в пределах трёх биотопов: Биотоп 1 – северный склон СКАС; Биотоп 2 – склон северной экспозиции Пуп Келдыша и Биотоп 3 – склон южной экспозиции Пуп Келдыша. В каждом биотопе закладывали по три учетные площадки размером 10x10 м, описывали по 30 особей. Репродуктивный побег измеряли от основания до соцветия или цветка; на нем подсчитывали число узлов; определяли окружность стебля, параметры листа и соцветия. По измеренным значениям рассчитывали коэффициент вариации каждого признака – это относительный показатель, который удобен тем, что позволяет сравнивать между собой варьирование различных признаков, имеющих неодинаковую размерность [2, 7]. При оценке амплитуды изменчивости использовали эмпирическую шкалу уровней изменчивости (CV) морфометрических параметров, разработанную С. А. Мамаевым для древесных, но используемой и для травянистых растений. В этой шкале выделены следующие уровни изменчивости: очень низкий – меньше 7%; низкий – 8–12%; средний – 13–20%; повышенный – 21–30%; высокий – 31–40%; очень высокий – больше 40%.

На обследованных территориях выявлен 41 вид высших сосудистых растений из 23 семейств. Рассчитанный индекс видового сходства между фитоценозами показал, что наибольшее сходство (54%) выявлено между фитоценозами северных экспозиций склонов СКАС и Пуп Келдыша, а также между фитоценозами склонов северной и южной экспозиций (43%) Пуп Келдыша. Наименее сходны по видовому составу (13%) склоны северной и южной экспозиций СКАС; северной экспозиции Пуп Келдыша и южной экспозиции СКАС (14%). Для сравнения биоразнообразия фитоценозов был рассчитан также индекс гетерогенности Маргалефа, значения которого для фитоценоза Пуп Келдыша (8,2) и СКАС (8,8) были близки.

Анализ количественных и метрических показателей вегетативных и генеративных органов ятрышника пятнистого показал (табл.), что значения таких параметров как высота растения, длина и ширина листа больше в Биотопе 2, а высота и окружность соцветия – в Биотопе 1. Можно предположить, что экологические условия склонов северной экспозиции наиболее благоприятны для *Orchis maculata*.

О вариабельности морфологической структуры растений в изученных биотопах можно судить по радиальным диаграммам (рис.). Оценка вариабельности морфологических параметров на межпопуляционном уровне показала, что высокий уровень изменчивости ($CV > 30\%$) у ятрышника пятнистого имели такие показатели, как ширина листа и окружность стебля. Уровень изменчивости в трех различных биотопах существенно отличался.

**Морфометрические показатели *Orchis maculata* в зависимости
от условий произрастания**

Показатель	Биотоп 1	Биотоп 2	Биотоп 3
Высота растения, см	21,40±5,51	22,47±4,44	21,73±7,61
Окружность стебля в первом междоузлии, см	2,00±0,88	2,35±0,79	2,70±1,16
Число метамеров	4,53±1,06	4,53±0,88	4,53±1,41
Длина листа, см	8,07±1,87	8,67±1,53	8,50±2,14
Ширина листа, см	2,29±1,01	2,63±2,19	2,22±1,00
Длина соцветия, см	6,78±1,47	6,43±1,71	6,17±1,65
Окружность соцветия, см	10,07±1,48	10,00±1,67	9,30±2,30

Примечание: Биотоп 1 – склон северной экспозиции СКАС; Биотоп 2 – склон северной экспозиции Пуп Келдыша; Биотоп 3 – склон южной экспозиции Пуп Келдыша.



Рис. Коэффициент вариации морфометрических признаков *Orchis maculata*:
А – Биотоп 1; Б – Биотоп 2; В – Биотоп 3

В условиях Биотопа 3 CV отдельных параметров был в пределах 13–33% (средний и повышенный), за исключением ширины листа, который достигает 80% (очень высокий). По сравнению с Биотопами 1 и 2 вариабельность признаков была ниже. Это может быть связано с тем, что на склоне южной экспозиции выше уровень антропогенной нагрузки (выпас скота). Так, было показано [2], что у эфемероидов широколиственного леса амплитуда изменчивости уменьшается при возрастании рекреационных нагрузок на экосистему.

У растений Биотопов 1 и 2 коэффициенты вариации признаков в пределах 15–40% (от среднего до высокого). Как отмечает Е. Л. Любарский, коэффициент варьирования важнейших признаков растений обычно очень высок (от 40 до 100%). Как отмечает ряд авторов [8, 9], размерная дифференциация особей значительно повышает реализацию адаптационного потенциала вида, ценопопуляции растений способны реагировать изменчивостью морфологических признаков на экологические условия, складывающиеся в период их вегетации.

Следует отметить, что вариабельность параметров соцветия была ниже, чем параметров вегетативных органов у растений ятрышника всех исследо-

ванных местообитаний. Обычно признаки репродуктивной сферы более устойчивы по сравнению с признаками вегетативной части растения [2, 8].

Таким образом, морфометрические параметры вегетативных и репродуктивных органов *Orchis maculata* изменялись в зависимости от экологических условий произрастания растений. Коэффициенты вариации признаков в целом были выше в условиях склонов северной экспозиции, что может быть связано с приспособлением к более разнообразным условиям (по сравнению со склонами южной экспозиции) температурного режима и увлажнения.

Библиографический список

1. Жуйкова Т. В., Позолотина В. Н. Популяционная адаптация растений, произрастающих в условиях техногенного загрязнения // Современные проблемы экологии, микробиологии и иммунологии : материалы регион. конф. молодых ученых. Пермь, 1999. С. 27–29.
2. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста. Сумы (Украина) : Университетская книга, 2009. 263 с.
3. Зернов А. С. Флора Северо-Западного Кавказа. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2006. 664 с.
4. Орхидеи нашей страны / Л. А. Аверьянов, М. Г. Вахрамеева, Л.В. Денисова и др. М. : Изд-во МГУ, 1991. 170 с.
5. Блинова К. Ф., Яковлев Г. П. Ботанико-фармакогностический словарь. М. : Высшая школа, 1990. 256 с.
6. Зернов А. С. Растения Северо-Западного Закавказья. М. : Изд-во МПГУ, 2000. 130 с.
7. Методы изучения ценопопуляций цветковых растений / А. С. Кашин, Т. А. Крицкая, Н. А. Петрова, И. В. Шилова. Саратов, 2015. 127 с.
8. Лыу Т. Н., Очирова А. С., Лиджиева Н. Ц. Изменчивость морфологических признаков растений и виталитетная структура ценопопуляций видов рода *Tulipa* в заповеднике «Черные земли» // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18, № 5(2). С. 314–319.
9. Олейникова Е. М. Реализация адаптивного потенциала у растений (на примере стержнекорневых трав) // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 1. [Электронный ресурс]. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=24104> (дата обращения: 31.10.2022).

О КОМПАКТНЫХ КЛОНАХ ИРИСА СИБИРСКОГО (*IRIS SIBIRICA* L.)

Ю. А. Овчинникова, Н. П. Савиных
Вятский государственный университет,
yuliaovchinnikova0@gmail.com, savva_09@mail.ru

Рассмотрен онтоморфогенез особей *Iris sibirica*. Особое внимание уделено структуре компактного клона, формирующегося в конце генеративного периода в результате морфологической дезинтеграции с незначительным омоложением близко расположенных дочерних особей. Отмечено вторичное заселение территории не только за счет вегетативного размножения, но и за счет семенной репродукции на месте отмерших центральных частей исходной особи.

Ключевые слова: *Iris sibirica*, онтоморфогенез, компактный клон, ку-
стящаяся партикула, некустящаяся партикула, морфологическая дезинтегра-
ция, вторичное заселение территории.

Многие растения в ходе онтогенеза претерпевают морфологическую дезинтеграцию, которая имеет разное значение в их индивидуальном развитии [1]. Неявнополицентрические слабо вегетативно подвижные растения, в отличие от вегетативно подвижных явнополицентрических, на последних фазах онтоморфогенеза существуют в состоянии компактных клонов. Морфологическая дезинтеграция у таких, особенно, короткокорневищных растений, хотя и начинается в конце зрелого генеративного онтогенетического состояния, не приводит к значительному омоложению и расселению дочерних особей. В течение длительного времени они существуют вблизи друг от друга, образуя большие скопления, часто морфологически целостные.

Именно к таким растениям относится ирис сибирский (*Iris sibirica* L.). Это – поликарпическое многолетнее короткокорневищное неявнополицентрическое вегетативно слабо подвижное травянистое растение с неспециализированной нормальной морфологической дезинтеграцией в конце генеративного периода и слабым омоложением дочерних особей. *I. sibirica* – бореально-неморально-субсредиземноморский вид, произрастающий в Средней Европе, Сибири, Прибалтике, Белоруссии, Молдавии, на Украине, на Кавказе, в Малой Азии и Монголии, на северо-западе Казахстана [2, 3]. В России встречается во многих районах европейской части (кроме севера и юго-востока), в Западной Сибири и на юго-западе Восточной Сибири. В Средней России известен во всех областях, чаще в черноземной полосе [4]. *I. sibirica* произрастает на пойменных, сырых и лесных лугах, полянах, по опушкам лесов и речным долинам [2, 4]. В Кировской области отмечен в центрально-северном, западном, восточном, центрально-южном, юго-восточном, южном геоботанических районах [5]. Особи *I. sibirica* предпочитают определенные по Д. Н. Цыганову [6] семиаридные полуконтинентальные условия неморального климатического режима; умеренные, мягкие зимы; световой режим субсветовых сухолесолуговых пространств; богатые минеральными солями, очень бедные азотом, нейтральные почвы с умеренно-сильным переменным увлажнением. Вид является гемистенобионтом по отношению к комплексу климатических, почвенных факторов и освещенности-затенения, определенных по Л. А. Жуковой и др. [7, 8]. Это растение как редкий и уязвимый вид, нуждающийся в постоянном контроле и наблюдении, включен в Приложение 2 Красной книги Кировской области [9].

Отсутствие данных о биоморфологии ириса сибирского, особенно о структуре особей во второй половине онтогенеза, затрудняет оценку состояния ценопопуляций этого вида и разработку мер по его сохранению в регионе. Поэтому цель данного исследования – изучение поздних этапов онтоморфогенеза *I. sibirica*. Задачи – изучить структуру компактных клонов и предположить последующие фазы онтоморфогенеза ириса сибирского.

Структура особи *I. sibirica* в виде компактных клонов исследована на злаково-разнотравном луге в пойме р. Вятки, расположенном на окраине северо-восточной части г. Кирова (58°37'127" с. ш., 49°44'137" в. д.). Этот луг находится на первой от террасы гриве. Наиболее типичные клоны изымали из фитоценоза и изучали их состав, определяя возможные фазы онтоморфогенеза. Тип клона и фазы онтоморфогенеза оценивали по О. В. Смирновой [1, 10].

Исследуемый фитоценоз представляет собой злаково-разнотравный луг в центральной пойме р. Вятки в окр. с. Макарье (г. Киров). Во флористическом составе лугов с присутствием ириса доминируют *Alopecurus pratensis* L. и *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.; содоминантами являются *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Trifolium medium* L. Обильно представлены *Pimpinella saxifraga* L., *Galium boreale* L., *Lysimachia nummularia* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Filipendula denudata* (J. et C. Presl) Fritsch., *Inula salicina* L. Особенностью флоры данного фитоценоза является присутствие совместно с *I. sibirica* кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.) и горца змеиного (*Bistorta officinalis* Raf.), что вместе с расположением этого луга указывает на возможную древность данного фитоценоза [11]. В течение длительного времени местные жители косили луг, поддерживая его в неизменном состоянии, препятствуя зарастанию лесом. В последние десятилетия хозяйственной деятельности нет, поэтому луг постепенно зарастает сосной и шиповником и, возможно, скоро исчезнет.

На первых этапах онтоморфогенеза особи ириса имеют вид первичного побега – олигоциклического монокарпического розеточного с несколькими первыми листьями, почкой возобновления и смешанной корневой системой [12]. В фазе первичного побега растение находится в онтогенетическом состоянии проростка и в имматурном.

Далее формируется первичный куст – образование диаметром от 2 до 11 см, возникшее в результате одно-двухкратного ветвления первичного побега в его базальной части. Фаза первичного куста соответствует виргинильному и молодому генеративному онтогенетическим состояниям особей *I. sibirica*. У виргинильных особей он состоит из розеточных вегетативных моно- и дициклических побегов; у генеративных особей содержит до 4 вегетативно-генеративных три- или олигоциклических монокарпических полурозеточных побегов и от 2 до 12 вегетативных розеточных.

В этом исследовании описаны последующие фазы онтоморфогенеза, начиная с рыхлого куста. Он представляет собой систему диаметром 10–38 см из укореняющихся три- или олигоциклических полурозеточных монокарпических побегов, возникшую в результате многократного (более третьего порядка) ветвления первичного побега. В центре куста на последних этапах его развития образуется небольшой округлый участок без надземных побегов из сохраняющих морфологическую целостность резидов эпигеогенного корневища. В периферической части куста развивается от 15 до 59 вегетативных розеточных побегов и 3–22 вегетативно-генеративных полурозеточных побе-

гов. Фаза рыхлого куста соответствует средневозрастному генеративному онтогенетическому состоянию.

В результате разрастания и партикуляции рыхлого куста образуется компактный клон с центральной свободной от побегов частью диаметром от 5 до 28 см из кустящихся и, изредка, некустящихся партикул. Кустящаяся партикула представляет собой обособленную систему базисимподиально нарастающих, базитонно ветвящихся вплоть до 7–11 порядков три- или олигоциклических монокарпических побегов. Эти побеговые системы содержат до 2–15 вегетативных розеточных побегов и до 7 вегетативно-генеративных полурозеточных текущего года. Диаметр кустящихся партикул составляет 6,5–15,5 см, а число всех резидов в составе одной партикулы – до 66.

Кустящиеся партикулы в составе исследованных клонов, в зависимости от их площади, площади отмерших резидов и отношения вегетативно-генеративных побегов к вегетативным, представляют особи средневозрастного генеративного и старого генеративного онтогенетических состояний, что свидетельствует о слабом омоложении рамет *I. sibirica*, либо о полном его отсутствии. Соотношение вегетативно-генеративных побегов к вегетативным составляет 1:2 у средневозрастных генеративных партикул и 1:1,5 у партикул в старом генеративном онтогенетическом состоянии. Это подчеркивает низкую интенсивность побегообразования таких партикул. Большинство обнаруженных кустящихся партикул соответствуют средневозрастному генеративному онтогенетическому состоянию.

Кустящиеся партикулы в процессе дальнейшего онтоморфогенеза теряют способность к ветвлению и становятся некустящимися. Некоторые из них образуются в результате морфологической дезинтеграции кустящихся партикул. Они представляют собой обособленную систему базисимподиально нарастающих три- и олигоциклических монокарпических побегов длиной до 10 см. Такие нецветущие растения, по-видимому, смогут перейти к цветению при удалении от исходной особи. Или при отсутствии омоложения отойти в разряд особей постгенеративного онтогенетического состояния.

Поскольку у дочерних особей ириса почти нет омоложения, морфологическая дезинтеграция обеспечивает незначительное поддержание онтогенеза генеты и ценопопуляции. Длительное существование ириса в пределах занятого пространства обеспечивается центробежным разрастанием компактного клона, увеличением его диаметра и последующим отчленением отдельных кустящихся партикул. Именно за их счет возможно формирование новых центров развития уже дочерних особей и вегетативное поддержание ценопопуляции.

Освободившийся центр компактного клона – особая территория: здесь не могут прорасти семена других луговых трав из-за наличия большого числа плотно сомкнутых отмерших, но не перегнивших резидов и невозможности проникновения семян из-за высоких цветоносных побегов и плотно расположенных листьев вегетативных розеточных.

Однако, в центре клона обнаружено растение небольшого диаметра (6,5 см), с 2 вегетативными побегами текущего года и одним вегетативно-генеративным побегом прошлого года; с увеличивающимися размерами каждого последующего годового прироста. Возможно, это особь семенного происхождения и для ириса, как и других корневищных трав – луговика дернистого (*Deschampsia cespitosa*), таволги вязолистной (*Filipendula ulmaria*) [13, 14], свойственно вторичное освоение пространства по мере старения исходной особи.

Несмотря на то, что морфологическая дезинтеграция у ириса сибирского происходит в средневозрастном генеративном онтогенетическом состоянии и не сопровождается значительным омоложением потомков, существование особей в виде компактного клона значительно продлевает жизнь растению, его полный онтогенез, обеспечивает вторичное заселение территории и поддержание ценопопуляции не только за счет образования вегетативных потомков, но и путем семенного размножения.

Библиографический список

1. Смирнова О. В. Структура травяного покрова широколиственных лесов. М. : Наука, 1987. 206 с.
2. Федченко Б. А. Род 307 Касатик – *Iris* L. // Флора СССР. Л., 1935. Т. 4. С. 511–576.
3. Доронькин В. М. Семейство Iridaceae – Касатиковые // Флора Сибири. Новосибирск : Изд-во «Наука», 1987. Т. 4. С. 113–125.
4. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Том 1: Папоротники, хвощи, плауны, голосеменные, покрытосеменные (однодольные) / И. А. Губанов, К. В. Киселева, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. М. : Тов-во науч. изд. КМК, Ин-т технологических исследований, 2004. 520 с.
5. Определитель растений Кировской области: в 2-х ч. / Ф. А. Александров, Л. А. Зубарева, В. П. Клирсова и др. Киров : Кир. гос. пед. ин-т им. В. И. Ленина, 1975. Ч. 1. 254 с.
6. Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М. : Наука, 1983. 197 с.
7. Экологические шкалы и методы анализа экологического разнообразия растений / Л. А. Жукова, Ю. А. Дорогова, Н. В. Турмухаметова и др.; под общ. ред. проф. Л. А. Жуковой. Йошкар-Ола : Изд-во МарГУ, 2010. 368 с.
8. Овчинникова Ю. А., Шабалкина С. В. Об экологических предпочтениях *Iris sibirica* L. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Изд-во ВятГУ, 2019. С. 277–282.
9. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы / под ред. О. Г. Барановой, Е. П. Лачохи, В. М. Рябова, В. Н. Сотникова, Е. М. Тарасовой, Л. Г. Целищевой. Изд. 2-е. Киров : Кировская областная типография, 2014. 336 с.
10. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / О. В. Смирнова, Л. Б. Заугольнова, И. М. Ермакова и др. М. : Наука, 1976. 217 с.
11. Кровохлебковые пойменные луга на евросибирском долготном градиенте / И. Б. Кучеров, К. В. Щукина, И. В. Татаренко и др. // Ботан. журн.. 2020. Т. 105, № 12. С. 1169–1190. doi: 10.31857/S0006813620120133
12. Родионенко Г. И. Род Ирис – *Iris* L. (вопросы морфологии, биологии, эволюции и систематики). М. : Изд-во АН СССР, 1961. 217 с.

13. Жукова Л. А. Луговик дернистый (щучка) // Биол. флора Московской области. 1976. Вып. 3. С. 62–75.

14. Савиных Н. П., Михайлова Е. А. Побегообразование таволги вязолистной (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.) // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностики живых систем : материалы XI Всерос. науч.-практ. конф.-выставки инновационных экол. проектов с междунар. участием (26–28 ноября 2013 г.). Киров : Веси, 2013. С. 259–262.

О ГЕОГРАФИЧЕСКОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЯХ *CENOLOPHIUM DENUDATUM* (HORNEM.) TUTIN

К. Д. Белова

Вятский государственный университет, korosova2013@yandex.ru

В статье представлены данные об особенностях географии и экологии пусторёбрышника обнаженного (*Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin). Несмотря на обширный ареал и средние возможности приспособления к условиям обитания, на вид влияет ряд лимитирующих факторов, ограничивающих его распространение.

Ключевые слова: *Cenolophium denudatum*, экологические предпочтения, экологические шкалы.

Пусторёбрышник обнаженный (*Cenolophium denudatum* (Hornem.) Tutin) – многолетнее травянистое растение, относится к семейству сельдерейные (Apiaceae), обладает лекарственными свойствами. В вегетативных надземных органах и плодах обнаружены кумарины и флавоноиды, а в плодах замечено довольно большое количество эфирных масел [1]. Из всего разнообразия растений, считающихся источником полезных и лекарственных соединений, есть те, которые в большинстве своем являются мало распространёнными. И пусторёбрышник не является исключением. В связи с этим была определена цель исследования – выявление особенностей распространения и экологических предпочтений *C. denudatum*.

Пусторёбрышник обнажённый является евразийским, бореальным видом [2], который обитает в лесной и степной зонах. Исследуемый вид имеет широкое общее распространение: Западная и Восточная Сибирь, Средняя и Центральная Азия, Китай, Средняя Европа [3]. В России *C. denudatum* встречается в европейской части и Сибири. Произрастает во всех областях Средней России [4]. Однако, при таком достаточно обширном диапазоне распространения, для территории Кировской области пусторёбрышник обнажённый отмечается как редко встречающийся [2].

C. denudatum обитает на песчаных и каменистых берегах, приречных и насыпных песках, на прибрежных скалах и нарушенных склонах, по берегам водоёмов, на пойменных лугах, иногда как заносное растение у дорог. Иссле-

дуремый вид является частичным апофитом, автохором, мезофитом, мезотрофом и светолюбивым растением [2, 3, 5].

Экологические предпочтения *C. denudatum* выявляли при помощи амплитудных экологических шкал Д. Н. Цыганова [6] по методике Л. А. Жуковой [7]. Из 10 шкал данные о пусторёбрышнике есть для 8 (рис.): Tm – термоклиматическая (17¹); Kn – континентальности климата (15); Om – омброклиматическая аридности гумидности (15); Cr – криоклиматическая (15); Hd – увлажнения почвы (23); Tr – солевого режима почвы (19); fH – переменности увлажнения почв (11); Lc – освещённости-затенения (9).

Также в работе установили потенциальную экологическую валентность (PEV). Данный показатель используется для определения количественной оценки использования каждого фактора исследуемым видом растения и рассчитывается как отношение числа ступеней конкретной шкалы, занятой данным видом, к общей протяженности шкалы в ступенях. Был рассчитан и индекс толерантности этого вида (It) – отношение суммы потенциальных экологических валентностей данного вида с числом шкал.

По термоклиматической шкале вид находится в диапазоне от 4 до 11 баллов (рис., табл.), т.е. *C. denudatum* относится к следующим экологическим свитам: арктобореальная, зубореальная, мезобореальная, суббореальная, бореонеморальная, эунеморальная, термонеморальная, субсредиземноморская. Климат варьирует от бореального до субсредиземноморского. Термоморфа: +Vm.

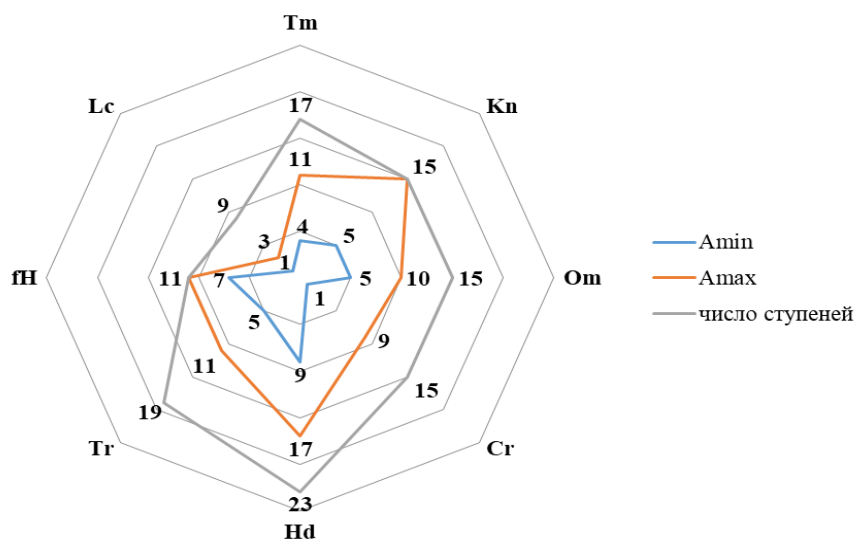


Рис. Экологические предпочтения *Cenolophium denudatum* по шкалам Д. Н. Цыганова [6]: сокращения в тексте

Значения шкалы континентальности климата находятся в пределах 5–15 баллов (рис., табл.), что соответствует морской, приморской, субматериковой, 1-ой и 2-ой материковым, полуконтинентальной, субконтинентальной, мезоконтинентальной, 1-ой и 2-ой континентальным и ультраконтиненталь-

¹ в скобках указано число ступеней конкретной шкалы

ным экологическим свитам. По отношению к континентальности климата вид занимает положение от морского до ультраконтинентального типов режима. Контрастоморфа: оU.

Амплитуда омброклиматической шкалы составляет от 5 до 10 баллов (рис., табл.). Это свидетельствует о приуроченности к следующим экологическим свитам: мезоаридной 2-ой, субаридным 1-ой и 2-ой, семиаридной, субгумидным 1-ой и 2-ой. *C. denudatum* может произрастать в условиях от мезоаридных до промежуточных между субгумидным и гумидным. Омброморфа: SE+.

Диапазон значений криоклиматической шкалы для пусторёбрышника равен 1–9 (рис., табл.). Он включает 1-ю и 2-ю гиперкриотермные, 1-ю и 2-ю перкриотермные, 1-ю и 2-ю криотермные, субкриотермные и 1-ю гемикриотермную экологические свиты. Вид обитает в режиме от очень суровых до мягких зим. Криоморфа: КО.

Таблица

Экологические предпочтения *Cenolophium denudatum*

Шкала*	Диапазон шкалы для вида	РЕV	Фракция валентности**	Экологическая свита
Tm	4–11	0,47	МВ	Арктобореальная–субсредиземноморская
Kn	5–15	0,73	ЭВ	Морская–ультраконтинентальная
Om	5–10	0,40	ГСВ	Мезоаридная 2-я–субгумидная 2-я
Cr	1–9	0,60	ГЭВ	Гиперкриотермная 1-я–гемикриотермная 1-я
Lc	1–3	0,33	СВ	Внелесная–кустарниковая
Hd	9–17	0,39	ГСВ	Влажностепная–болотно-лесолуговая
Tr	5–11	0,37	ГСВ	Гликомезотрофная–галоэвтрофная
fH	7–11	0,45	ГСВ	Субконтрастофильная 1-я–контрастофильная 3-я

Примечание: * – сокращения в тексте; ** СВ – стеновалентная; ГСВ – гемистеновалентная; МВ – мезовалентная; ГЭВ – гемизэввалентная; ЭВ – эввалентная.

По шкале увлажнения почв *C. denudatum* занимает диапазон от 9 до 17 баллов (рис., табл.), т. е. данному виду соответствуют влажностепная, суб-, сухо-, свежо-, влажно-, сыровато-, сыро-, мокро- и болотно-лесолуговые экологические свиты. Гидроморфа: Ср.

Значения шкалы солевого режима почвы занимают промежуток 5–11 баллов (рис., табл.), что соответствует следующим экологическим свитам: гликомезотрофная, гликопермезотрофная, гликосемиэвтрофная, гликосубэвтрофная, галоэвтрофная, пертрофная, галоэвтрофная. Пусторёбрышник может встречаться как на небогатых, так и на слабосоленых почвах. Трофоморфа: Mg.

Вид находится в диапазоне от 7 до 11 баллов по шкале переменности увлажнения почв. Эти ступени соответствуют субконтрастofilным и контрастofilным экологическим свитам. Для *C. denudatum* характерны условия от умеренно переменного до резкопеременного увлажнения. Гидроконтрастоморфа: su.

Амплитуда шкалы освещённости-затенения составляет 1–3 балла, что соответствует следующим экологическим свитам: внелесная (световая), полянная (субсветовая) и кустарниковая. Пусторёбрышник обнажённый может произрастать на открытых и полуоткрытых пространствах. Гелиоморфа: Gg.

Высчитали балл условно оптимального типа экологического режима как среднее из минимума и максимума амплитуды толерантности вида. Обобщенно местообитания *C. denudatum* характеризуются следующим образом: обитает от субарктической до субсредиземноморской зоны ($Tm=7,5$), на материках в условиях субконтинентального режима ($Kn=10$), в мезоаридных условиях ($Om=7,5$) с довольно суровыми зимами ($Cr=5$). Данный вид предпочитает световой режим открытых и полуоткрытых ($Lc=2$), влажнолесолуговых ($Hd=13$) пространств, довольно богатых и богатых почв ($Tr=8$) с режимом сильнопеременного увлажнения ($fH=9$).

C. denudatum обладает низкой валентностью (табл.) к условиям освещённости-затенения ($Lc=0,33$) и является стеновалентным по отношению к данному фактору. Также достаточно низкие показатели валентности по шкалам: обмроклиматической ($Om=0,40$), увлажнению почв ($Hd=0,39$), солевому режиму почв ($Tr=0,37$) и переменности их увлажнения ($fH=0,45$).

Индекс толерантности (It) равен 0,46, что характеризует вид как мезобионтный по отношению к климатическим и почвенным факторам среды, следовательно, *C. denudatum* способен существовать при средней амплитуде экологических факторов среды. Анализ вышеописанных шкал показал наличие лимитирующих факторов, ограничивающих распространения вида. Таким образом, пусторёбрышник обнажённый обладает средними возможностями приспособления к разнообразным экологическим условиям, но особенно резко реагируя на затенение, солевое богатство почв и условия их увлажнения.

Библиографический список

1. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т. 3. Семейства Fabaceae – Apiaceae / отв. ред. А. Л. Буданцев. СПб.; М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2010. 601 с.
2. Тарасова Е. М. Флора Вятского края. Ч. 1. Киров : Кировская областная типография, 2007. 440 с.
3. Виноградова В. М. Род 34. Пусторёбрышник – *Cenolophium* Kosh. // Флора Восточной Европы. Т. 11 / под ред. Н. Н. Цвелева. М.–СПб. : Тов-во науч. изд. КМК, 2004. С. 315.
4. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 3 / И. А. Губанов, К. В. Киселева, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. М. : Тов-во науч. изд. КМК, Ин-т технологических исследований, 2004. 520 с.
5. Чернов Е. Г. Пусторёберник – *Cenolophium* Kosh // Флора Мурманской области. Т. 4 / под ред. А. И. Поярковой. М.–Л. : Изд-во АН СССР, 1959. С. 253–556.

6. Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М. : Наука, 1983. 197 с.

7. Экологические шкалы и методы анализа экологического разнообразия растений / под общ. ред. проф. Л. А. Жуковой. Йошкар-Ола : Изд-во МарГУ, 2010. 368 с.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

В. В. Рутман¹, Г. Я. Кантор^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет, rutman.slavik@yandex.ru*

² *ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН*

В статье представлен опыт применения космических снимков высокого разрешения для идентификации растительных сообществ с инвазивным видом – борщевиком Сосновского – на местности и выявлены преимущества данного метода.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, геоинформационные системы, дистанционное зондирование Земли, космоснимки.

Проблема распространения инвазивного вида борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) остаётся по прежнему актуальной как для территории Кировской области, так и для большинства регионов России в целом. Для наблюдения за разрастанием и оценки эффективности мер борьбы с инвазивным растением используются различные методы дистанционного зондирования Земли. В основном, применяются снимки со спутниковых аппаратов группы Sentinel 2 с пространственным разрешением 10 м. Такого качества изображений явно недостаточно для поиска и обнаружения одиночных и небольших групп особей [1]. Для обнаружения небольших скоплений особей инвазивных видов активно используются аэроснимки, большинство из которых получают при помощи беспилотных летательных аппаратов, квадрокоптеров. Этот метод также имеет ряд недостатков, основными из которых можно считать сравнительно небольшую площадь съёмки, также зависимость от погодных условий и наличия зданий и сооружений [2].

В 2022 г. для изучения лесовосстановления на неиспользуемых сельскохозяйственных землях были использованы снимки с высоким пространственным разрешением (0,5–1,0 м), сделанные с аппарата WorldView-2, расположенные в открытом доступе на ресурсе Google Earth. Для изучения космоснимков применяли визуальное дешифрирование на основе цвета и формы объектов [3]. Аналогичный анализ снимков также применим и для изучения распространения борщевика. По результатам ранее проведённых исследований космоснимков и аэроснимков сообществ борщевика, были установлены основные дешифровочные признаки и формы разрастания борщевика на местности. Также в статьях [3–5] отмечена важность наблюдения за неэк-

плуатируемыми сельхозугодиями для изучения процессов вторичной сукцессии. Эти территории также наиболее подвержены зарастанию борщевиком, а использование снимков за разные временные периоды в разные годы позволяют проследить динамику разрастания на отдельных территориях и выявить мешающие факторы.

Для изучения распространения борщевика был определен ряд участков на территории г. Кирова. Среди них выделяются неиспользуемые сельхозугодия; луговые земли; участки, где проводится и отсутствует кошение борщевика. Выбранные территории располагаются на окраинах города, примыкают к жилым застройкам, объектам промышленности, сельского хозяйства и дачным участкам.

На рисунке 1 показан участок, на котором проводится регулярное скашивание борщевика. Снимок сделан 20.08.2022 г., чёрным контуром обведены площади, на которых выкашивается борщевик, белым контуром отмечен участок, на котором кошение не проводится. Эти участки заметно различаются в видимом диапазоне. Зелёный и синий каналы спектра на обоих участках различаются незначительно; при этом на участке, не подверженном скашиванию, показатель красного канала выше, чем на участке со скашиванием. Это объясняется тем, что после кошения, начинается отрастание побегов, в то время, как нетронутые растения увядают.

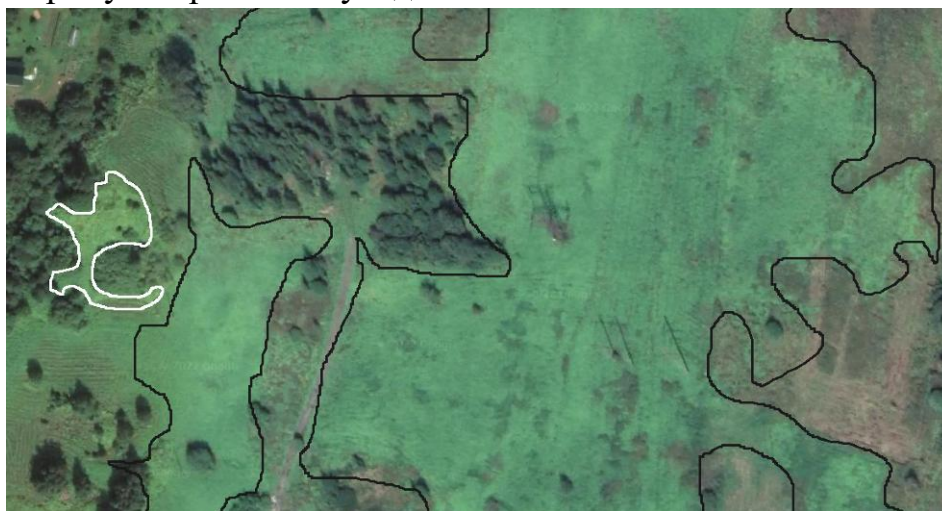


Рис. 1. Снимок территории, на которой проводится кошение борщевика

На рисунке 2 изображён снимок с космического аппарата. На снимке заметна конфигурация зарастания поля борщевиком, со стороны автодороги. Граница разрастания показана чёрной линией. Хорошо заметны участки, которые заросли борщевиком окружают, но не прорастают на них на рисунке обведены в белый контур. Для выяснения причины отсутствия борщевика на этих участках, необходимо провести сравнительный анализ почвы с этих участков и почвы под зарослями борщевика. На рисунке 3 показан фотоснимок рассматриваемой территории, на котором заметны заросли борщевика и участки без зарастания. На этих участках растительный покров куда более не-

значительный, чем на участках, до которых разрастание борщевика ещё не добралось.

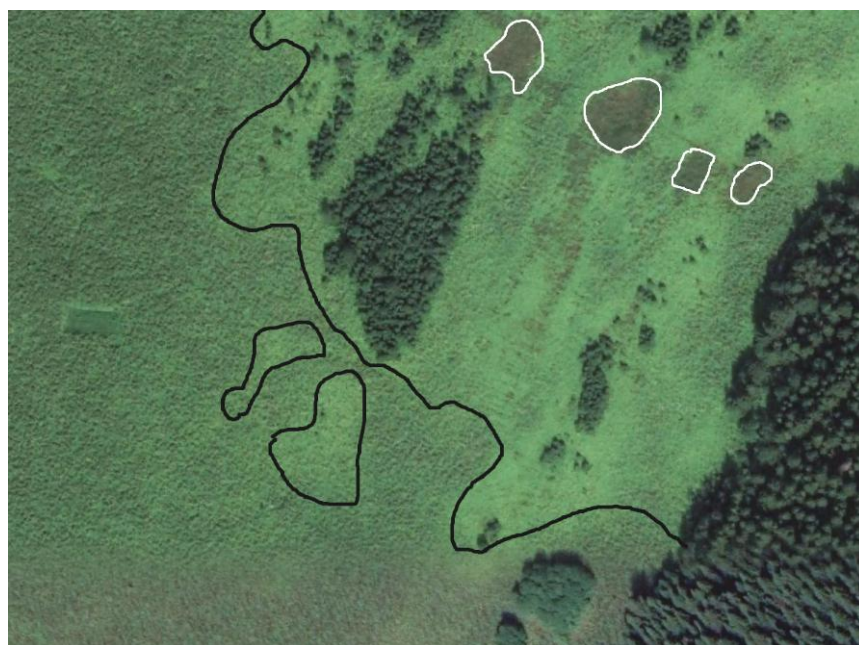


Рис. 2. Космический снимок территории, подверженной зарастанию борщевиком



Рис. 3. Фотоснимок территории, подверженной зарастанию борщевиком

После изучения принципов распознавания борщевика по дистанционным снимкам, следующим этапом является сравнение снимков за разные годы и изучение динамики зарастания. На рисунке 4 показан участок с площадью 71000 м^2 в 2019 и 2022 г. Слева показан снимок за 2019 г., участок, занятый борщевиком, обведён чёрной линией. На рисунке видно, как борщевик распространяется вдоль дороги, проложенной через поле и вблизи лесопоса-

док, окружающих это поле. От этих участков он начинает распространяться в центр. Площадь зарастания составляла приблизительно 6880 м². Спустя три года, мы можем наблюдать значительное увеличение площади зарастания борщевика (рис. 4, справа). Площадь зарастания уже составила 24522 м² и, тем самым, увеличилась в 3,6 раза.



Рис. 4. Динамика зарастания территории борщевиком Сосновского: слева – май 2019 г., справа – июнь 2022 г.

Анализ снимков с высоким разрешением, находящихся в открытом доступе, позволил обнаружить более мелкие скопления борщевика Сосновского и проследить динамику и особенности его распространения.

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. Рутман В. В., Кантор Г. Я. Особенности спектров отражения борщевика Сосновского по данным с космического аппарата Sentinel-2 // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2019. С. 47–50.
2. Рутман В. В., Кантор Г. Я. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов для изучения распространения инвазивной растительности // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 222–225.
3. Мониторинг зарастания заброшенных земель сельскохозяйственного назначения по спутниковым снимкам высокого разрешения / Е. А. Домнина, Т. А. Адамович, А. С. Тимонов, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 82–89. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-082-089
4. 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
5. 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. doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-066-073

МЕЖВИДОВЫЕ ОТНОШЕНИЯ В ФИТОЦЕНОЗАХ НА ПРИМЕРЕ АМЕНСАЛИЗМА НА ТЕРРИТОРИИ МАНТУРОВСКОГО КЛАСТЕРА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС»

Э. В. Марамохин, А. А. Ершов, В. Г. Корзникова

Костромской государственной университет, maramokhin91@mail.ru

В статье сообщается о результатах исследований межвидовых отношений в фитоценозах на примере аменсализма в Мантуровском кластере ГПЗ «Кологривский лес», проводимых с использованием программы EcoScaleWin. Также рассматриваются биотопические особенности растений – и определяется характер ингибирования растений к фактору охлестывания.

Ключевые слова: геоботаническая площадка, охлестывание, аменсализм, EcoScaleWin.

Аменсализм – наиболее обычная биологическая основа конкурентного вытеснения одним видом другого из места их совместного произрастания или обитания [1, 2]. Одним из проявлений аменсализма является охлестывание. Охлестывание – это повреждение гибкими ветвями одной породы кроны другой. Оно характерно для хвойных пород, и в первую очередь для *Picea abies* L. и *Pinus sylvestris* L., ломкие ветви которых повреждаются гибкими и прочными ветвями *Betula pendula* Roth. После листопада упругие ветви *B. pendula* при раскачивании их ветром наносят сильные удары по кронам растущих рядом хвойных деревьев. В результате этого ветви *P. abies* и *P. sylvestris* лишаются хвои и даже обламываются, что приводит к изреживанию их кроны и ослаблению роста. К породам-охлестывателям относятся также *Populus tremula* L. и *Alnus incana* (L.) Moench. В лесных культурах можно избежать охлестывания, если деревья разных пород растут на некотором расстоянии друг от друга [3–5].

Для выявления изменений в природной среде, происшедших с момента прекращения хозяйственной деятельности и организации заповедника, необходимо проведение исследований, в том числе направленных и на изучение межвидовых и внутривидовых отношений в фитоценозах.

Геоботанические исследования проводили в июне 2022 г. по общепринятым методикам. Для изучения некоторых биотопических особенностей растений, которые подверглись аменсализму и выявления среди них аменсалов и ингибиторов к фактору охлестывания, а также получения объективных данных, был использован метод закладки геоботанических площадок. На площадках определяли высоту, возраст и диаметр ствола деревьев, сомкнутость крон, уровень радиации, освещённости, видовой состав и покрытие травяно-кустарничкового яруса.

Для проведения исследований использовали следующее оборудование: высотомер, возрастной бурав, мерную вилку, мерную ленту, люксметр, дозиметр НЕЙВА. Для обозначения границ площадок применяли колья-рейки и заградительную ленту.

На площадках определяли обилие для каждого растения, оценку проводили по шкале Браун-Бланке. При обработке полученных результатов применяли метод средневзвешенной середины интервала. Все полученные данные вносили в программу EcoScaleWin, где проводили обработку полученных геоботанических описаний по амплитудным шкалам Д. Н. Цыганова и Л. Г. Раменского, точечным шкалам Г. Элленберга и Э. Ландольта.

Для изучения проявления аменсализма в растительном сообществе, заложены 2 геоботанические площадки: 1-я площадка – сосняк-брусничник; 2-я площадка – сосняк-черничник. С помощью навигатора Polaris установлены координаты площадок: первая точка: 58°083054"N, 44°С619422"E, высота над уровнем моря 156 м; вторая точка: 58°044254"N, 44°646302"E, высота над уровнем моря 163 м.

Параметры деревьев, участвующих в охлестывании, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Параметры деревьев, участвующие в охлестывании на площадке № 1

Пара охлестывания (аменсал – ингибитор)	Возраст (лет)		Диаметр (см)		Высота (м)		Угол отклонения (в градусах)		Сомкнутость кроны (%)
<i>P. sylvestris</i> – <i>B. pendula</i>	32	28	23	28	25	23	25	25	40
<i>P. sylvestris</i> – <i>P. sylvestris</i>	20	18	16	13	18	17	30	30	40
<i>P. sylvestris</i> – <i>P. sylvestris</i>	25	22	21	18	18	20	35	30	50
<i>B. pendula</i> – <i>P. tremula</i>	20	24	28	23	22	17	0	0	30

Средний возраст *B. pendula* равен 26 годам, диаметр – 28 см, высота – 22,5 м; *P. sylvestris*: возраст – 23,4 года, диаметр – 18,2 см, высота – 19,6 м, *P. tremula*: возраст – 24 года, диаметр – 23, высота – 17 м. Угол отклонения при охлестывании не превышал 30°, а его средняя величина составляет 21,8°. Средняя сомкнутость крон составила 45%.

Таблица 2

Параметры деревьев, участвующие в охлестывании на площадке № 2

Пара охлестывания (аменсал – ингибитор)	Возраст (лет)		Диаметр (см)		Высота (м)		Угол отклонения (в градусах)		Сомкнутость кроны (%)
<i>P. sylvestris</i> – <i>B. pendula</i>	25	20	23	15	17	18	20	20	40

Сравнивая две исследованные нами площадки с охлестыванием (табл. 1, 2), мы видим, что средняя величина угла отклонения на площадке № 1 незначительно отличается от площадки № 2, и составляет 20°. Сомкнутость крон также незначительно отличается и равна 40%.

Также нами сосчитан средний процент охлестывания на каждой из изученных площадок: в сосняке-брусничнике он составил 12,5%, а в сосняке-черничнике – 4,5%.

По О. А. Неволину [6] нами была определена степень охлестывания на каждой исследованной площадке. Она была равна II степени – слабое охлестывание [6]. *P. sylvestris* повреждена и имеет редкое охвоевание незначительной части боковых ветвей. Крона развита нормально, реже выражена однобокость. Рост и состояние дерева хорошие.

В результате обработки данных, полученных при геоботаническом описании заложенных площадок программой EcoScaleWin по амплитудным шкалам следует, что обе геоботанические площадки с участием *P. sylvestris*, *B. pendula*, *P. tremula* имеют сходные параметры, как по климатическим, так и по эдафическим факторам. Таким образом, можно определить оптимальные условия для *P. sylvestris*, *B. pendula*, *P. tremula*. Растения произрастают в основном на кислых и слабокислых почвах, бедных элементами минерального питания, богатых гумусом, среднего условия увлажнения и с преобладанием влажнолугового режима. По гранулометрическому составу почвы тонкопесчаные, пылеватые, более или менее аэрируемые. Исследуемые растения встречаются преимущественно в тенистых местообитаниях, на полном свете могут произрастать только в условиях ослабленной конкуренции с другими видами. Широко распространенные виды, произрастающие в прохладном и умеренном климате и избегающие экстремально континентальных районов.

В ходе исследования выявлено, что некоторые виды деревьев могут выполнять роль как аменсалов, так и ингибиторов. Наибольшее воздействие как аменсалы оказывают лиственные породы, так как являются наиболее сильными по отношению к хвойным. Это выражается в том, что зимой во время ветра, ветви лиственных пород деревьев, лишённые листьев, охлестывают ветви хвойных деревьев, на которых находится хвоя. Также наблюдается отклонение стволов деревьев относительно друг друга, что обусловлено накоплением большой массы осадков в зимнее время на ветвях противоположных сторон стволов, не подвергнутых охлестыванию. При охлестывании лиственных пород друг друга более сильное воздействие оказывают те, кто имеют наиболее широкие листья и гибкие ветви, примером служит охлестывание берёзы осинкой.

Библиографический список

1. Аменсализм. Студопедия. [Электронный ресурс]. – URL: https://studopedia.ru/2_21617_amensalizm.html (дата обращения: 23.06.2022).
2. Гурин А. Г., Игнатова Г. А., Резвякова С. В. Учебное пособие по дисциплине «Экология» для самостоятельной работы обучающихся направления подготовки Агрохимия и агропочвоведение : учебное пособие. 4-е изд., перераб. и доп. Орел : ОрелГАУ, 2021. 289 с. [Электронный ресурс]. – URL : <https://e.lanbook.com/book/213587> (дата обращения: 23.06.2022).
3. Лесная энциклопедия : в 2-х т. Т. 2 / под ред. Г. И. Воробьев. М. : Сов. энциклопедия, 1986. 631 с.

4. Примеры аменсализма у животных и растений // CYBER LESSON [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberlesson.ru/primery-amensalizma-u-zhivotnyh> (дата обращения: 23.06.2022).

5. Сарнацкий В. В. О конкуренции в лесном древостое // Труды БГТУ. 2017. № 2. С. 109–114.

6. Неволин О. А. Основы хозяйства в высокопродуктивных сосняках Севера. Архангельск : Сев. Зап. кн. изд-во, 1969. 103 с.

НЕКОТОРЫЕ ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ МАНТУРОВСКОГО КЛАСТЕРА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА

*Е. А. Урекин, В. А. Сотникова, П. А. Чихалева, Э. В. Марамохин
Костромской государственный университет, eurekin@mail.ru*

В статье рассматривается таксономическое разнообразие прибрежно-водной растительности Мантуровского кластера государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына, оценены биотопические особенности этих фитоценозов, рассчитан индекс биотической дисперсии Коха для всех заложённых площадок.

Ключевые слова: прибрежно-водная растительность, фитоценоз, геоботаническая площадка, индекс биотической дисперсии Коха, EcoScaleWin.

Прибрежно-водные растения занимают обособленное положение в растительном мире благодаря своим морфологическим, биологическим и экологическим особенностям. Обитание растений в водной среде или на мелководных участках способствовало появлению у них особых черт организации. Среди водных растений эндемиков сравнительно мало, что объясняется нивелирующими физико-химическими условиями водной среды [1].

Прибрежно-водная растительность играет большую роль в формировании биогеоценозов и водных экосистем. Это связано с тем, что растения, являясь продуцентами, обеспечивают питание многим видам водных и околоводных животных, служат местом икрометания для рыб, убежищем и местом гнездования для птиц. Велика роль прибрежно-водной растительности и в экологии. Многие виды растений способны поглощать минеральные и органические вещества, которые попадают в воду, в том числе и в результате хозяйственной деятельности человека. В связи с этим изучение сообществ с участием этих растений является актуальным и значимым для современной биологии [2].

Геоботанические исследования проводили в июне 2022 г. с заложением пяти площадок по 10 м² каждая в западной части Мантуровского кластера государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына. Площадки закладывали вдоль русла рек Кастово и Иваньчиха. Опре-

деляли видовой состав растений и покрытие каждого вида по шкале Браун-Бланке [3]. Полученные в результате геоботанических описаний данные обрабатывали по амплитудным шкалам Л. Г. Раменского и Д. Н. Цыганова, по точечным шкалам Г. Элленберга и Э. Ландольта с помощью программы EcoScaleWin методом средневзвешенной середины интервала [4]. Для сравнения видового состава использовали индекс биотической дисперсии Коха [5].

Площадка № 1 располагалась в зоне уреза реки Кастово, которая в месте исследования имела крутой берег. Характер донного и прибрежного субстрата – песчаный, а дальше от реки сменялся дерново-подзолистыми почвами. Вода в реке прозрачная, глубина – 0,3–0,5 м. Площадка № 2 располагалась вблизи первой также на реке Кастово, где линия уреза реки проходила через площадку. Прибрежный субстрат, в основном, песчаный, а в реке – песчано-каменистый. Глубина реки в зоне площадки колебалась от 0,2 до 0,4 м. Площадка № 3 отличалась от остальных своей террасированностью и находилась на расстоянии 1,5–2 м от линии уреза воды. Почвы представлены, в основном, глинистыми и подзолистыми типами. Площадка № 4 располагалась на реке Иваньчиха, где исследованы оба берега. Характер дна в реке песчано-каменистый, берега имели большой уклон и местами обрывистость. Уровень воды в реке составлял 0,2–0,4 м. Площадка № 5 располагалась в прибрежной зоне реки Иваньчиха на расстоянии 2–3 м от уреза воды. Почвы, в основном, подзолистые.

В ходе исследования, обнаружено 76 видов растений, относящихся к 38 семействам. Самым многочисленным по количеству обнаруженных видов стало семейство Rosaceae – 7 видов.

Наибольшее видовое разнообразие отмечено на площадке № 5 (рис.). Вероятно, это может быть связано с наличием древесных форм, которые создают теневые условия, благоприятно влияют на развитие тенелюбивых и теневыносливых растений (*Convallaria majalis* L., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Ajuga reptans* L. и др.). Наименьшее видовое разнообразие наблюдается на площадке № 2. Возможно, это связано с песчаной по гранулометрическому составу почвой, поскольку такой субстрат быстро пересыхает и не способен обеспечить достаточное водное и минеральное питание прибрежно-водных растений. Кроме того, закрепиться многим растениям в песчаном субстрате сложно и при весеннем половодье многие из них сносит течением.

Анализ таксономической структуры прибрежно-водной флоры исследованных фитоценозов показал следующие особенности. Доминирующими по числу встреченных видов на площадке № 1 являются семейства Equisetaceae и Arjaceae: они представлены тремя видами каждый. По одному виду насчитывается в большинстве семейств, встреченных на данной площадке: Geraniaceae, Plantaginaceae, Ranunculaceae, Lythraceae, Cyperaceae, Marchantiaceae, Fontinalaceae, Potamogetonaceae, Rubiaceae, Caryophyllaceae, Clusiaceae, Poaceae, Onagraceae. Семейства Asteraceae, Rosaceae, Violaceae, Primulaceae, Salicaceae представлены двумя видами каждое.

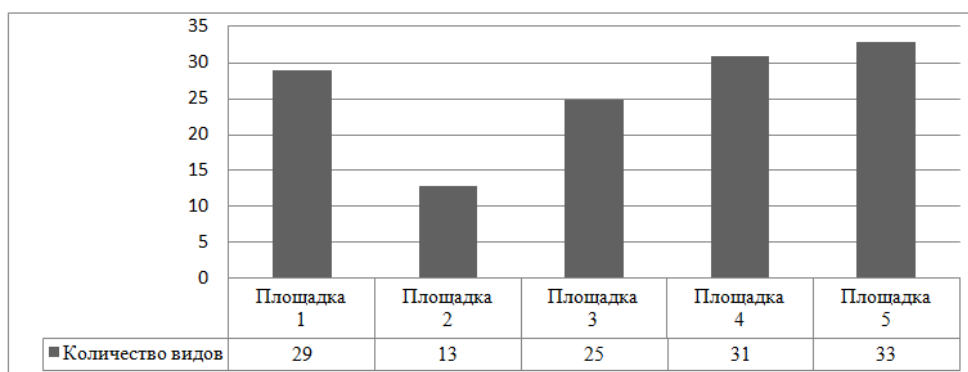


Рис. Видовое разнообразие растений на исследованных геоботанических площадках

На площадке № 2 семейства Rosaceae, Apiaceae, Betulaceae лидируют по числу обнаруженных видов, каждое из которых включает по два вида. Остальные семейства представлены одним видом.

На площадке № 3 доминирует по числу обнаруженных видов семейство Rosaceae (3 вида); семейства Asteraceae, Apiaceae, Caryophyllaceae, Fabaceae включают по два вида; оставшиеся семейства представлены одним видом.

Преобладающими по количеству определенных видов на площадке № 4 являются семейства Asteraceae, Rosaceae, Equisetaceae, Violaceae (по 3 вида). Семейства Apiaceae, Cyperaceae, Betulaceae представлены двумя видами каждое; остальные – по одному виду.

На площадке № 5 доминирует семейство Rosaceae с пятью видами. Семейство Apiaceae представлено тремя видами, семейства Betulaceae, Fabaceae, Pinaceae – двумя, остальные – одним видом. Отличительной особенностью этой площадки является наличие *Atragene sibirica* L., который включен в Красную книгу Костромской области с 3 категорией (редкий вид) [6]. Сложившиеся условия данного биоценоза, по всей видимости, достаточны для произрастания этого вида.

Для всех исследованных фитоценозов индекс биотической дисперсии Коха составил 18%, что свидетельствует о гетерогенности видового состава.

Изученные площадки по всем экологическим шкалам имеют сходные климатические и эдафические параметры, определенные посредством программы EcoScaleWin. Климат в исследуемой зоне суббореальный, субконтинентальный. Растения данных фитоценозов встречаются на сильно увлажненных почвах, с достаточным богатством минерального питания, азота и гумуса. Кислотность почв варьировала от слабокислой до слабощелочной; гранулометрический состав соответствует слабо вентилируемым почвам. Выявленные виды являются теневыносливыми и тенелюбивыми. Для изученных фитоценозов характерно слабое влияние выпаса скота.

Таким образом, в составе прибрежно-водной растительности обнаружено 76 видов растений, относящихся к 38 семействам. Самым многочисленным по количеству обнаруженных видов стало семейство Rosaceae. Индекс биотической дисперсии Коха составил 18%, что свидетельствует о гетерогенности

видового состава. На основании этого можно заключить, что исследованные фитоценозы обладают высоким биоразнообразием и, как следствие, устойчивостью.

Библиографический список

1. Гигевич Г. С., Власов Б. П., Вынаев Г. В. Ресурсы высших водных растений озер Беларуси // Вестник Витебского государственного университета. 1999. № 3(13). С. 66–71.
2. Садчиков А. П., Кудряшов М. А. Экология прибрежно-водной растительности : учебное пособие для студ. вузов. М. : Изд-во НИИ-Природа, РЭФИИ, 2004. 220 с.
3. Braun-Blanquet J. Plant Sociology. New York : McGraw-Hill Book Company, 1932.
4. Зубкова Е. В. Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с помощью программы EcoScailWin. Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, Пущинский гос. ун-т, 2008. 96 с.
5. Koch L. F. Index of biotal dispersity // Ecology. 1957. Vol. 38, No. 1. P. 145–148.
6. Красная книга Костромской области / науч. ред. М. В. Сиротина, А. Л. Анциферов, А. А. Ефимова. 2-е изд., перераб. и доп. Кострома : Костромской государственный университет, 2019. 432 с.

МАТЕРИАЛЫ К ФЛОРЕ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗАПОВЕДНИКА «ВАСЮГАНСКИЙ»

В. М. Рябов¹, Т. Ю. Черникова², Е. В. Рябова¹

¹ *Вятский государственный университет, ryapitschi@yandex.ru,*

² *Государственный природный заповедник «Васюганский»,
tasp156@yandex.ru*

Объектом исследования являются флора и растительность ключевых участков государственного природного заповедника «Васюганский». На территории Верх-Тартасского, Парбигского и Кёнгинского ключевых участков суммарно выявлено 293 вида высших сосудистых растений, относящихся к 66 семействам.

Ключевые слова: Большое Васюганское болото, Верх-Тартасский, Кёнгинский, Парбигский ключевые участки, заповедник «Васюганский», флора, растительность.

Большое Васюганское болото является самой крупной болотной системой северного полушария. Расположено на юге Западно-Сибирской равнины в осевой части Обь-Иртышского междуречья, охватывает пограничные районы Томской, Новосибирской, Омской и Тюменской областей [1]. В 2017 г. на части территории Большого Васюганского болота был создан государственный природный заповедник «Васюганский» площадью 614 803 га. Заповедник расположен в Бакcharском районе Томской области, Северном и Убинском районах Новосибирской области.

Территория заповедника разделена на несколько ключевых участков, расположенных по верховьям рек, берущих начало на болоте. С 2020 г. в за-

поведнике осуществляется комплекс мероприятий, направленных на инвентаризацию биоты. В настоящее время проведен начальный этап инвентаризации флоры Верх-Тартасского (2020 г.), Парбигского (2021 г.) и Кёнгинского (2022 г.) ключевых участков заповедника «Васюганский». Данные участки находятся в западной части заповедника и расположены по верховьям рек Тартас, Парбиг и Кёнга.

Флору и растительность исследуемой территории изучали маршрутным способом. Для определения коэффициента флористической общности, при сравнении флористического состава ключевых участков, использовали коэффициент сходства Жаккара [2].

На территории Верх-Тартасского, Парбигского и Кёнгинского ключевых участков суммарно выявлено 293 вида высших сосудистых растений, относящихся к 66 семействам [3, 4]. Выявленные виды относятся к 5 отделам: Lycopodiophyta (Плауновидные), Equisetophyta (Хвощевидные), Polypodiophyta (Папоротники), Pinophyta (Голосеменные), Magnoliophyta (Покрывтосеменные). Число видов по отделам представлено в таблице.

Таблица

Число видов высших сосудистых растений, произрастающих на территории ключевых участков заповедника «Васюганский»

№ п/п	Отдел	Ключевой участок заповедника «Васюганский»		
		Верх-Тартасский	Парбигский	Кёнгинский
1	Lycopodiophyta – Плауновидные	2	2	1
2	Equisetophyta – Хвощевидные	7	5	6
3	Polypodiophyta – Папоротники	10	6	6
4	Pinophyta – Голосемянные	5	5	4
5	Magnoliophyta – Покрывтосеменные	197	155	169
Итого		221	173	186

Лидерами по числу видов на всех ключевых участках являются следующие семейства: Розовые (Rosaceae), Мятликовые, или Злаки (Poaceae, или Gramineae), Астровые (Asteraceae, или Compositae), Лютиковые (Ranunculaceae), Осоковые (Cyperaceae), Сельдерейные, или Зонтичные (Apiaceae или Umbelliferae), Бобовые (Fabaceae, или Leguminosae), Яснотковые, или Губоцветные (Lamiaceae или Labiatae), Вересковые (Ericaceae). В целом, флора имеет схожий типично таежный характер, обусловленный расположением территорий в южнотаежной подзоне Западной Сибири.

Сравнение флористического состава Кёнгинского и Верх-Тартасского ключевых участков показало, что общее число видов составляет 153, из выявленных 186 и 221, соответственно. Коэффициент сходства Жаккара равен 0,6, что говорит о значительном сходстве флоры и растительности. Это подтверждается типичностью биоценозов двух участков: большую часть занимают лесные сообщества. Причем, мелколиственные леса (берзовые и осиновые)

являются вторичными, сформированными на месте рубок и (или) пожарищ. Однако, на левом берегу р. Тартас часть осинников является первичной.

Березняки Верх-Тартасского ключевого участка изобилуют представителями семейства Орхидные [3], тогда как на территории Кёнгинского ключевого участка ни один вид этого семейства не был обнаружен. Сходство проявляется также в облесенных береговых склонах рек Тартас и Кёнга, имеющих типичный состав из ив (*Salix* sp.), таволги (*Filipendula* sp.), шиповников (*Rosa* sp.), боярышника кроваво-красного (*Crataegus sanguinea* Pallas) и караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.). Однако, на р. Тартас доминирующим видом кустарников на склонах является боярышник кроваво-красный, а на р. Кёнга – карагана древовидная.

Луговые сообщества располагаются узкой полосой в пойменных участках рек. Однако, площадь и видовое разнообразие лугов Верх-Тартасского ключевого участка более значительные. Схожи водные и болотные сообщества. Предполагаем, что коэффициент сходства мог быть более высоким. Заниженные значения, вероятно, обусловлены разными сроками проведения полевых исследований: Верх-Тартасский участок – конец июля 2020 г. (активный период вегетации растений), Кёнгинский – начало июня 2022 г. (начало вегетационного периода).

Сравнение Кёнгинского и Парбигского ключевых участков показало, что общее число видов флоры составляет 102 из выявленных 186 и 173, соответственно. Коэффициент Жаккара равен 0,4, что подтверждает некоторую схожесть территории, но и свидетельствует о том, что есть участки с отличным флористическим составом. Доминирующими на Кёнгинском и Парбигском ключевых участках являются лесные сообщества (березняки, пихтарники), значительная площадь которых на Парбигском участке заболочена. Это способствует появлению во флоре таких болотных растений, как: багульник (*Ledum palustre* L.), клюква (*Oxycoccus* sp.), хамедафне (*Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench) и т.д. Пойменные, луговые, водные сообщества в описаниях Парбигского участка отсутствуют [4], что снижает сходство территорий.

На территории Верх-Тартасского, Парбигского, Кёнгинского ключевых участков проведены начальные этапы инвентаризации флоры и растительности. Флора исследована незначительно, происходит смена сообществ «лес» – «болото», поэтому целесообразно на ключевых участках заповедника «Васюганский» проводить длительные мониторинговые исследования флоры и растительности.

Библиографический список

1. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / под ред. д-ра биол. наук, профессора В. Б. Куваева. Тула : Гриф и К°, 2001. 584 с.
2. Горшков М. В. Сравнительный анализ компонентов растительного покрова на основе схемно-целевого подхода и биоинформационных технологий : дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2011. 219 с.

3. Отчет о НИР «Оценка видового разнообразия на Ключевом участке Государственного природного заповедника «Васюганский» / руководитель Е. В. Рябова. Киров, 2020. 178 с.

4. Отчет о НИР «Оценка видового разнообразия на Ключевом участке Государственного природного заповедника «Васюганский» / руководитель И. И. Гуреева. Киров, 2021. 74 с.

ЕЛОВЫЕ СООБЩЕСТВА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАКАЗНИКА «БУШКОВСКИЙ ЛЕС» (КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

И. А. Коновалова, Е. В. Лелекова
Вятский государственный университет,
S-dulcamara@yandex.ru, Lelekovaev1980@mail.ru

В статье представлены результаты исследований еловых насаждений 7 закрытых для лесохозяйственной деятельности кварталов государственного природного заказника «Бушковский лес». Выявлено четыре типа еловых сообществ, среди которых обнаружены трансформированные. Предложены рекомендации по сохранению биоразнообразия исследованных фитоценозов.

Ключевые слова: государственный природный заказник «Бушковский лес», еловый лес, сукцессия сообществ, лесохозяйственная деятельность.

Государственный природный заказник (ГПЗ) регионального значения «Бушковский лес» площадью около 10 тыс. га создан в подзоне смешанных лесов в Уржумском районе Кировской области. На его территории запрещено проведение рубок главного пользования, в 14 кварталах – любой лесохозяйственной деятельности. По результатам мониторинга 2018 г. к ним присоединились еще 8 кварталов заказника в связи с обнаружением крупных популяций редких видов в старовозрастных липовых лесах. Исследования 2019 г. были направлены на выявление редких и исчезающих сообществ ряда кварталов заказника и принятия решений по их охране или необходимости ведения в них лесохозяйственной деятельности. В наиболее типичных участках исследуемых фитоценозов заложены пробные площади размером 20×20 м и выполнены геоботанические описания по общепринятым методикам [1–3]. Всего обследовано 18 кварталов и проведено 87 описаний в разных фитоценозах, особое место среди которых представляют хвойные. Сосновые сообщества описаны нами ранее [4]. Цель настоящего сообщения – оценить состояние еловых насаждений отдельных кварталов ГПЗ «Бушковский лес».

Еловые леса изучены на территории 7 закрытых для проведения лесохозяйственной деятельности кварталов (52, 59, 62, 70, 78, 86, 97). Всего исследовано 23 выдела с еловыми насаждениями; выявлено четыре типа еловых лесов: чистые еловые, пихтово-березово-еловые, липово-еловые и сообщества с преобладанием лиственных пород деревьев, возникшие на месте ельников под влиянием естественной сукцессии в результате выпада ели из состава

древостоя. Мы называли их трансформированными. Ель в результате климатической аномалии 2010 г. засыхает на корню и вываливается с образованием ветровально-почвенных комплексов. Как известно, ветровалы ели в смешанных древостоях вызывают смену ее мелколиственными или широколиственными породами [5]. В данном случае – березы и липы.

Подлесок изученных еловых насаждений образуют рябина обыкновенная, черемуха обыкновенная, жимолость лесная и бересклет бородавчатый. В травостое часто доминирует сныть обыкновенная, встречаются пролесник многолетний, медуница неясная, звездчатка жестколистная, подмаренник душистый, крапива двудомная, копытень европейский, будра плющевидная, сочевичник весенний, недотрога обыкновенная, яснотка белая, щитовник распростертый, щитовник игольчатый, хвощ луговой.

Чистые еловые леса – искусственные насаждения на месте сплошных рубок 1978 г. (кв. 86, выдел 40) и 2005 г. (кв. 97, выдел 24). Доля ели в древостое составляет 10 единиц, примесью встречается береза и осина. Это насаждения III (кв. 86) и II (кв. 97) классов возраста с сомкнутостью крон 0,7 и полнотой 0,6. В подросте исследуемых насаждений присутствуют липа и вяз. Состояние ели неудовлетворительное; наблюдается выпад особей и сухостой в результате заглушения лиственными породами.

Пихтово-березово-еловые леса изучены на территории 62 (выдел 4) и 78 (выделы 4 и 8) кварталов. Согласно данным таксационных описаний (2011 г.) – это спелые среднеполнотные насаждения с различным составом древостоя по запасу – 4ЕЗПЗБ+Лп (кв. 62, выдел 4), 9Е4Б1П+Лп (кв. 78, выдел 4), 7Е1П2Б+С (кв. 78, выдел 8). На момент исследования (2019 г.) доля ели в древостое – 50%, березы – 30%, пихты – 20%; в насаждениях 4 выделов 62 и 78 кварталов присутствует примесь липы, в 8 выделе 78 квартала – сосны. Отмечен выпад ели из состава древостоя, валеж. В подросте – широколиственные породы, в частности вяз, который оказывает негативное влияние на хвойные через затенение. В результате ель угнетена и малочисленна, присутствует еловый сухостой. Пихтовый подрост удовлетворительного состояния, объединен лосями.

Липово-еловые леса исследованы на территории 59 (выделы 4, 6, 7, 11) и 70 (выдел 2) кварталов. В основном – это спелые (кв. 59, выделы 4, 7, 11), редко перестойные (кв. 59, выдел 6), среднеполнотные насаждения. Состав древостоя по запасу варьирует: 5Е4Лп1Б (выдел 4), 3Е2ПЗЛп2Б (выдел 6), 5Е1П4Лп (выдел 7), 5Е1П2Лп2Б (выдел 11). На момент исследования ель в древостое составляет 50–60%, липа – 40%. В составе насаждений встречается береза – 5Е4Лп1Б (4 выдел), пихта – 5Е3Лп1Б1П (6 выдел) и примесь вяза во втором ярусе – 5Е4Лп1Б+П+В (11 выдел). В 7 выделе береза не выявлена, пихта отмечена примесью – 6Е4Лп+П. Для каждого из фитоценозов характерен валеж и сухостой ели. В результате выпад этой породы образуются ветровально-почвенные комплексы и «окна» в пологе, которые занимает вяз высотой 7–12 м семенного и вегетативного происхождения. Он, наряду с кленом, доминирует в подросте и создает густой полог. В этих условиях еловый

подрост угнетен. Липа в подросте в основном вегетативного происхождения, единична, за исключением 11 выдела, где доминирует вместе с кленом. Подрост пихты малочисленный, высотой не более 0,5 м, объединен лосями. В 11 выделе на стволах липы отмечены отдельные дерновинки мха неккеры перистой.

В 70 квартале исследован искусственно созданный (культуры 1988 г.) на месте сплошной рубки с сохранением елового подроста молодняк II класса возраста с формулой древостоя по запасу 3Е3Ос3Лп1Б. Насаждение высокополнотное, что характерно для данного возраста при отсутствии ухода. На момент исследования фитоценоз описан как липово-еловый с березой, осинкой и примесью вяза. Ель частично выпала из состава древостоя, липа в основном вегетативного происхождения, представляет собой деревья-кусты. Присутствует еловый подрост высотой 1,5–3 м, расположенный группами в основном в «окнах» распада. Ель, сохраненная в качестве подроста во время сплошной рубки, встречается в пределах всего выдела, но имеет низкую численность. Наряду с хвойными в подросте отмечены липа, вяз и береза.

Большую долю исследованных насаждений составляют трансформированные ельники: елово-березовые, елово-липово-березовые, пихтово-елово-березовые, елово-липовые и елово-березово-липовые.

Елово-березовые леса изучены в 62 (выделы 1, 3, 8) и 78 (выдел 5) кварталах. Согласно данным таксационных описаний – это спелые среднеполнотные насаждения, доля ели в составе древостоя 40%. Из-за ее выпадения плотность стояния деревьев становится критической (0,4). Это наблюдается в 1 выделе 62 квартала с составом древостоя по запасу – 6Е1ПЗБ+Лп. На момент исследования отмечен массовый валеж ели на разных стадиях разложения, еловый сухостой. В древостое доминирует береза, присутствуют пихта и липа; состав древостоя по числу деревьев – 6Б4Е+П+Лп. Разновозрастный подрост ели удовлетворительного состояния, расположен группами преимущественно в «окнах». Липа малочисленна, вегетативного происхождения. Присутствует подрост вяза и пихты.

В 62 квартале (выделы 3 и 8) отмечены среднеполнотные елово-березовые леса с примесью пихты, липы и осины (3 выдел). Состав древостоя по запасу 5Е1П4Б+Лп+Ос и 5Е1П4Б+С соответственно. Доля березы – 60%, ели – 40%, состав древостоя по числу деревьев – 6Б4Е+П+Лп+Ос (3 выдел) и 6Б4Е+П+Лп (8 выдел). Еловый валеж присутствует в каждом выделе. Среди хвойного подроста преобладает пихтовый высотой до 1,5 м. Он имеет высокую жизненность, располагается группами. Подрост ели высотой 1,5 м разновозрастный, малочисленный, слабый. Среди лиственных пород отмечен хороший подрост прямоствольной укоренившейся липы вегетативного происхождения высотой 0,5–1,5 м.

В 5 выделе 78 квартала присутствуют перестойные деревья лиственных пород (березы, липы, осины). Состав древостоя по запасу – 4Е1ПЗБ1Лп1Ос, по числу деревьев – 6Б4Е+П+Лп+Ос. Это среднеполнотное насаждение с доминированием в подросте липы вегетативного происхождения высотой 10–

12 м. Подрост хвойных пород малочисленный, но жизнеспособный. Высота пихтового подроста до 1 м, елового до 4 м.

В отдельных кварталах заказника доля пихты в елово-березовых древостоях часто превышает 10 %. Такие насаждения изучены в 62 (выдел 9) и 78 (выделы 1, 2, 3) кварталах и названы пихтово-елово-березовыми.

В 9 выделе 62 квартала в составе древостоя пихта занимает 20 %, формула древостоя по числу деревьев – 4БЗЕ2П1Лп+Ос; по запасу – 4Е2П2Б2Лп. В насаждении присутствует перестойная береза, сухостой ели и пихты, отмечен еловый и березовый валеж. Сомкнутость крон – 0,7. В подросте доминирует разновозрастная ель высотой до 12 м, расположенная преимущественно в «окнах» распада. Присутствует вяз, отдельные особи которого достигают высоты 10 м. Отмечен малочисленный подрост клена (до 0,5 м высотой) и пихты (0,7–1,5 м высотой). Встречается дугообразная липа.

В 1 выделе 78 квартала исследован пихтово-елово-березовый лес с примесью липы и осины. Формула древостоя по числу деревьев – 5БЗЕ2П+Лп+Ос, по запасу – 4Е2ПЗБ1Ос+Лп. Это среднеполнотное спелое насаждение. Отмечен еловый сухостой и валеж. В подросте создает густой полог вяз высотой до 15 м. Присутствует ель высотой до 2 м. Особи, расположенные в «окнах», имеют высокую жизненность.

В 3 выделе 78 квартала изучено насаждение с составом древостоя по запасу – 3Е2П2Б2Лп, по числу деревьев – 4БЗЕ2П1Лп. В отличие от 1 выдела, здесь в подросте доминирует ель высотой 0,5–4 м и пихта до 1,5 м. Их состояние удовлетворительное. Присутствует липовый, кленовый и вязовый подрост, но их численность низкая, поэтому плотного полога из широколиственных пород нет. Липа угнетена, представляет собой дуги. Среди пихтово-елово-березовых фитоценозов встречаются и высокополнотные. Такое насаждение исследовано на территории 2 выдела 78 квартала. Состав древостоя по запасу – 3Е2ПЗОс1Лп1Б, по числу деревьев – 4БЗЕ2П1Ос+Лп. В результате высокой сомкнутости крон подрост ели угнетен, много сухостоя. Густой полог создает и подрост широколиственных пород, в частности вяза высотой 10–12 м. Липовый подрост угнетен, немногочислен, маложизнеспособен. Пихтовый подрост малочисленный, высотой до 1 м.

Елово-липово-березовые леса изучены в 20 выделе 70 квартала. Это молодняк II класса возраста естественного происхождения, сформировавшийся на месте сплошной рубки ориентировочно 2006–2007 гг. Состав древостоя по запасу – 3Е2Б2Ос2Лп, по числу деревьев – 4Б2Лп2Е1Ос1В. Это высокополнотное насаждение. Сохраненный во время рубки подрост ели угнетен лиственными породами. В древостое преобладают береза (40%) и липа вегетативного происхождения (20%), присутствуют осина и вяз.

Елово-липовые леса обнаружены в 52 (7 выдел) и 59 (15 выдел) кварталах. Состав древостоя по запасу – 4Е5Лп1Б и 5Е1ПЗЛп1Б соответственно. Это среднеполнотные разновозрастные насаждения. Доля ели в составе древостоя на момент исследования – 30–40%, липы – 50–60%, березы – 10%. Примесью встречается вяз во втором ярусе. В древостое наблюдается сухо-

стой ели, присутствует валеж. Отмечен разновозрастный еловый подрост высотой 1–3 м. Он угнетен, имеет сухие нижние ветви и редкую зеленую хвою. В 52 квартале в подросте доминирует вяз, который достигает высоты 10 м и создает густой полог. В 59 квартале основной полог образован кленом высотой до 3–4 м, единичные экземпляры которого в «окнах» достигают 9 м. Подрост липы вегетативного происхождения, малочисленный, угнетен.

Елово-березово-липовые леса изучены на территории 59 (1 выдел) и 62 (2 выдел) кварталов. Это разновозрастные среднеполнотные насаждения. В 59 квартале описан молодняк II класса возраста с составом древостоя по запасу 6Е2Б2Лп+Ос. Это искусственное насаждение, образованное на месте сплошной рубки 1996 г. В настоящее время это елово-березово-липовый лес с примесью осины. Состояние ели неудовлетворительное, большая часть особей выпала из состава насаждения в результате заглушения лиственными породами. В древостое доминирует липа сердцелистная (40%) в основном вегетативного происхождения, доля березы – 30%, осина встречается единично. В подросте преобладают вяз и клен, которые создают густой полог и препятствуют прохождению света к нижним ярусам фитоценоза. Подрост липы угнетён.

В 62 квартале описан елово-березово-липовый лес IV класса возраста. Формула древостоя по запасу – 4Е5Б1П+Лп, по числу деревьев на момент исследования – 5Лп3Б2Е+П. В насаждении наблюдается сухостой ели и валеж. В результате выпадения доля ели в составе древостоя сократилась до 20%, доминирует – липа. В подросте преобладает вяз; ель и липа – малочисленны, расположены в основном в «окнах».

Таким образом, исследованные еловые сообщества – в основном разновозрастные с преобладанием спелых, чаще среднеполнотных насаждений естественного и искусственного происхождения. В этих фитоценозах наблюдается общая тенденция, отражающая последствия засухи 2010 г., – массовый выпад ели из состава древостоя. Кроме захламления и повышения пожароопасности насаждения, это часто приводит к изменению породного состава фитоценоза, преобладанию в древостое лиственных пород. Полог в этих лесах сформирован вязом и/или кленом остролистным. Подрост ели и липы часто угнетен: повсеместно встречается сухостой ели и нежизнеспособный неукоренившийся, дугообразный подрост липы. Под густым пологом широколиственных пород, в отличие от других, лучше себя чувствует повсеместно встречающийся подрост пихты. Однако он является кормовой базой для лосей в зимний период, поэтому часто угнетен.

В целях сохранения еловых лесов ГПЗ «Бушковский лес» в изученных типах сообществ рекомендуем проводить следующие виды деятельности: в спелых и перестойных насаждениях – выборочные рубки, при которых в первую очередь удалять из состава древостоя сухостойные, фаутные и старовозрастные деревья. В целях сохранения жизнеспособного подроста ели, липы и пихты при наличии густого полога из широколиственных пород необходимо улучшать световой режим фитоценоза за счет частичной выборки клена,

вяза и нежизнеспособного дугообразного липового подроста. В молодняках, средневозрастных и приспевающих еловых фитоценозах рекомендуем проводить мероприятия в соответствии с возрастом.

Библиографический список

1. Сукачев В. Н., Зонн С. В., Мотовилов Г. П. Методические указания к изучению типов леса. М. : Изд-во АН, 1957. 115 с.
2. Шенников А. П. Введение в геоботанику. Л., 1964. 447 с.
3. Ипатов В. С. Описание фитоценоза: Методические рекомендации. СПб. : Изд-во СПбГУ, 1998. 93 с.
4. Коновалова И. А. Состояние сосновых насаждений ГПЗ «Бушковский лес» // Леса России: политика, промышленность, наука, образование : материалы VI Всерос. науч.-практ. конф. Т. 1. СПб. : СПбГЛТУ, 2021. С. 222–225.
5. Ткаченко М. Е. Общее лесоводство / под ред. И. С. Мелехова. М., Л., 1952. 596 с.

ТИПЫ И ОСОБЕННОСТИ ЕЛОВЫХ ЛЕСОВ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «МЕДВЕДСКИЙ БОР» (КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А. П. Гоголева, О. Н. Пересторонина

Вятский государственный университет, a.gogoleva2017@ya.ru

В статье представлены типы и особенности еловых лесов на территории памятника природы «Медведский бор» Нолинского района Кировской области, составленные при анализе таксационных описаний.

Ключевые слова: памятник природы, Медведский бор, лесное сообщество, еловый лес, тип леса.

Памятник природы «Медведский бор» расположен в Нолинском районе Кировской области, на границе южной тайги и хвойно-широколиственных лесов. Как интразональные сообщества сосновые леса, которые являются основой особо охраняемой природной территории «Медведский бор», со временем претерпевают сильные изменения [1]. Включение ели в состав сосновых лесов неблагоприятно влияет на их последующее развитие и разнообразие травяно-кустарничкового яруса. Чаще всего наблюдаются сукцессии – смена соснового древостоя еловым, изменение условий среды под пологом леса, что приводит к исчезновению редких лугово-степных видов растений, вытеснению их на открытые участки [2, 3].

В работе представлены результаты анализа таксационных описаний. Объектом исследования стали различные лесные сообщества с преобладанием ели.

Еловые леса на территории Медведского бора занимают площадь 40,9 га, что составляет 0,6% от общей площади памятника природы (6821,05 га); они представлены девятью типами: ельник лишайниковый (Л),

ельник травяно-болотный (ТБ), ельник разнотравный (РТ), ельник-черничник (Ч), ельник майниково-брусничный (МБ), ельник майниково-черничный (МЧ), ельник осоково-сфагновый (ОСФ), ельник брусничный (Б), ельник приручейный (Р). Наибольшую площадь занимают ельники майниково-брусничного типа, это 38,8% от общей площади (ОП) еловых насаждений, а наименьшую – лишайникового типа, площадью 0,7 га, что составляет 1,71% от ОП (рис. 1).

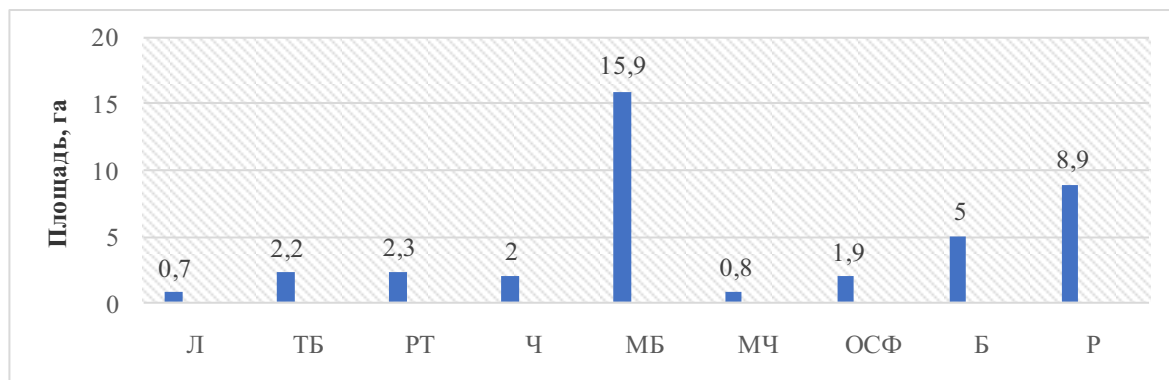


Рис. 1. Площадь еловых насаждений по типам леса

Средняя высота деревьев ели в насаждениях варьирует в среднем от 8 м в типе леса майниково-черничный до 26 м в разнотравном типе (рис. 2). Вероятно, в разнотравных сообществах больше задерживается и сохраняется почвенной влаги, что предпочтительнее для произрастания этой лесообразующей породы.

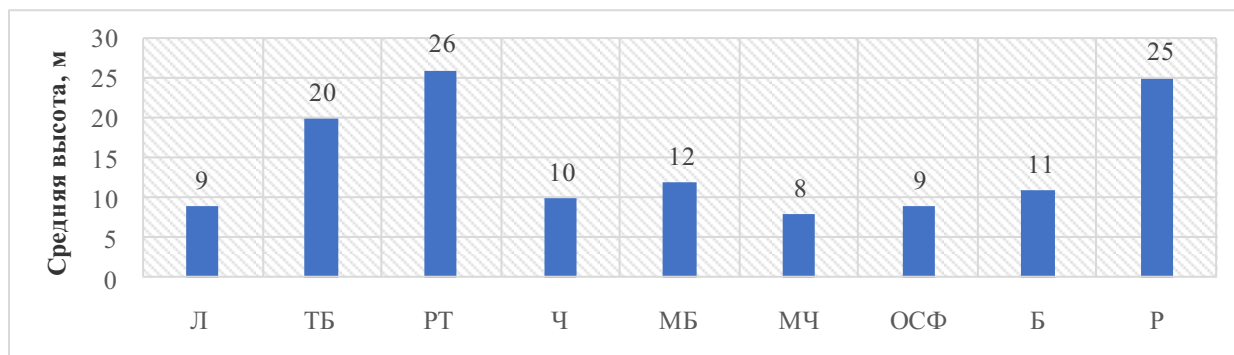


Рис. 2. Средняя высота особей ели в насаждениях по типам леса

Диаметр ствола деревьев ели в насаждениях изменяется от 10 см в майниково-черничном типе до максимума в 36 см в разнотравном и приручейном типах леса (рис. 3), как и доминирующие высоты.

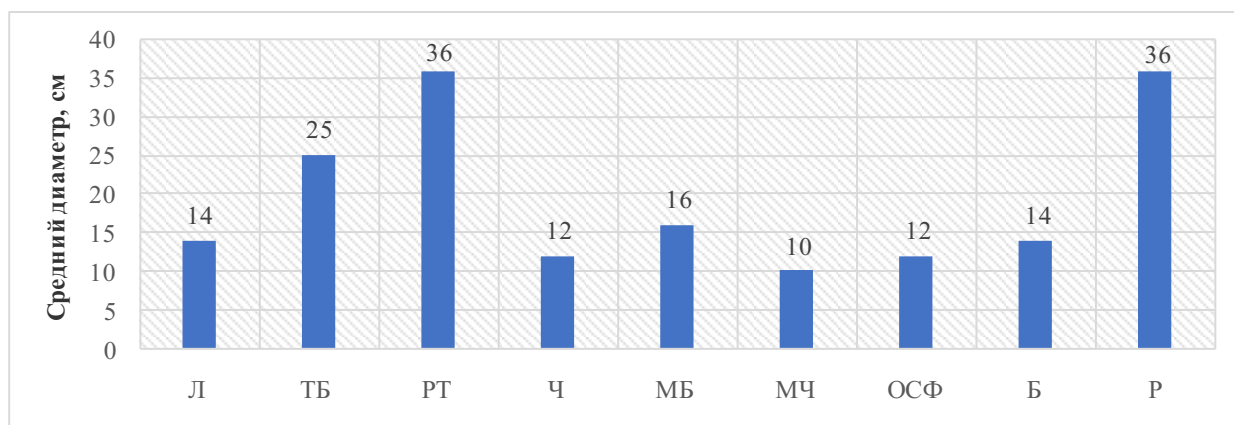


Рис. 3. Средний диаметр ствола ели в насаждениях по типам леса

Растения ели максимального возраста (130 лет) встречаются также в разнотравном типе леса (рис. 4) – это перестойные насаждения. Поскольку ее возобновление в сообществах Медведского бора идет активно, есть и более молодые насаждения в майниково-черничном типе, возраст этой лесообразующей породы в котором 30 лет.

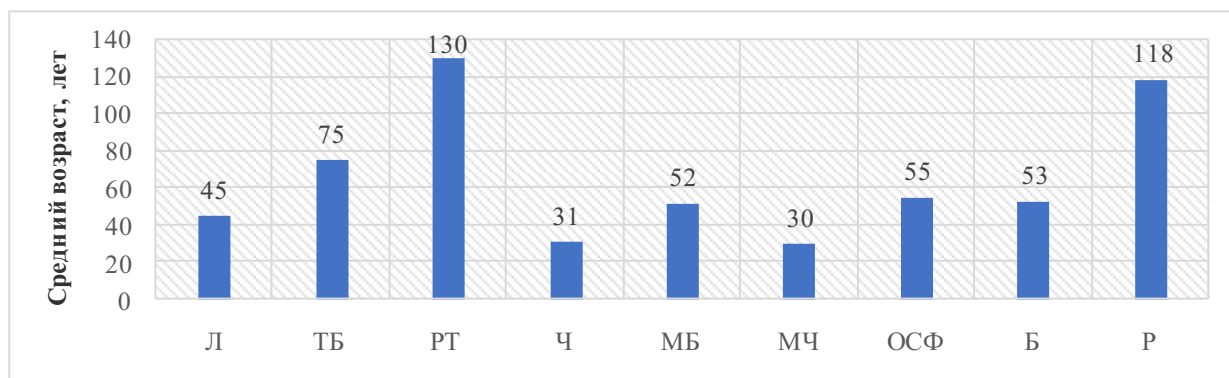


Рис. 4. Средний возраст ели в насаждениях по типам леса

Наивысший класс бонитета еловых насаждений – III – наблюдается у травяно-болотного, черничного, майниково-черничного, приручейного типов; низкобонитетным (V) является осоко-сфагновый тип леса (рис. 5). Еловые сообщества в условиях Медведского бора низкопродуктивные.

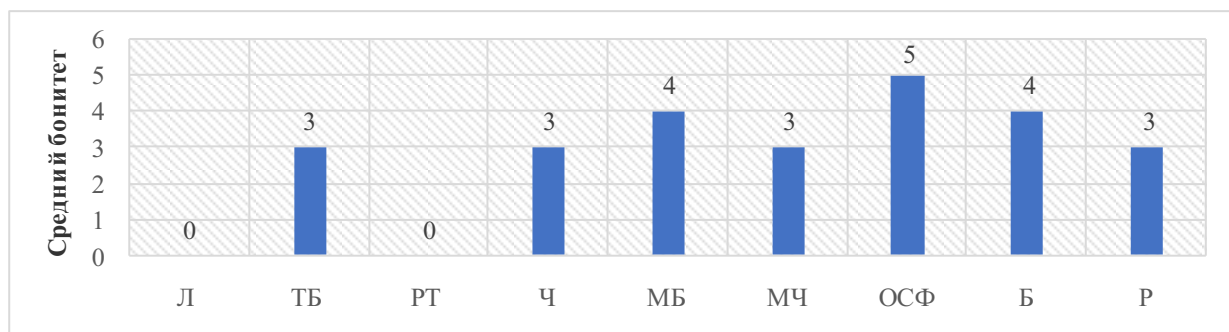


Рис. 5. Средний бонитет еловых насаждений по типам леса

Большинство типов еловых насаждений имеют полноту равную 0,5; только ельники брусничные отличаются высокой полнотой – 0,8 (рис. 6).

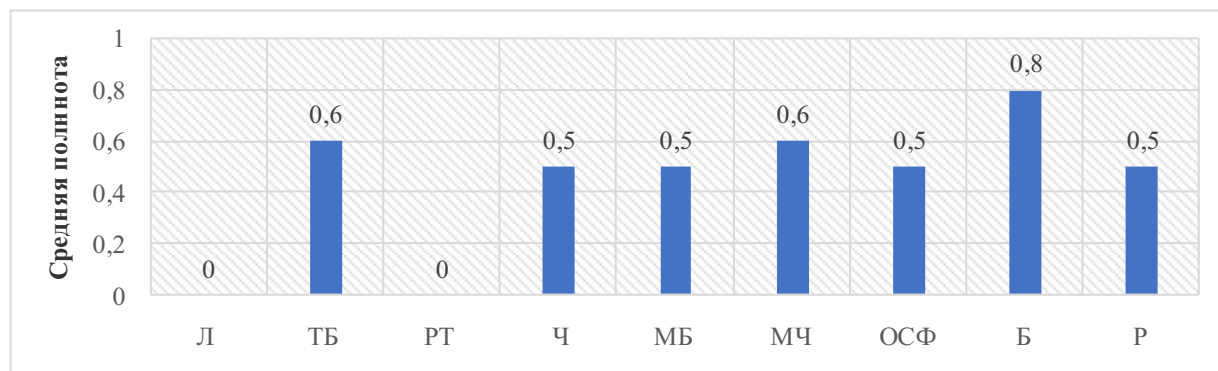


Рис. 6. Средняя полнота еловых насаждений по типам леса

Оценка подроста в еловых насаждениях Медведского бора показала, что преобладает берёзово-еловый (6Е4Б), численность которого 3 тыс. шт./га; наименьшая численность елово-соснового (8С2Е) и сосново-елового (7Е3С) подроста – 1 тыс. шт./га. Сосновый (10С) подрост низкорослый – 0,5 м, еловый (10Е) достигает высоты 6 м. Более возрастной подрост еловый (10Е) – 40 лет, возраст соснового (8С2Е; 10С) подроста – 5 лет (рис. 7). Условия освещенности под пологом еловых насаждений для возобновления сосны не удовлетворительные: и возраст, и высота подроста минимальные.

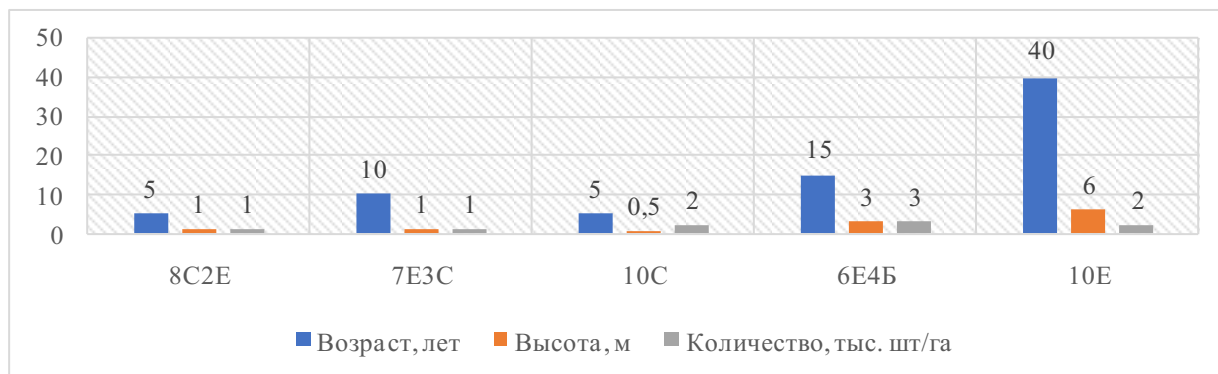


Рис. 7. Характеристика подроста в еловых насаждениях

Наиболее распространенным типом еловых насаждений, по результатам исследования, оказался майниково-брусничный, который занимает площадь 15,9 га, что составляет 6,5% от площади всех типов (40,9 га). Подавляющее большинство насаждений являются средне- и низкобонитетными, а также низко- и среднеполнотными.

Ель – не перспективная порода для лесорастительных условий Медведского бора, так как подвержена засыханию на песчаных почвах, находясь за стеной леса, сильно подвержена выгоранию, ветровалам. Следовательно, ель – не целесообразная порода для данного памятника природы. Во всех типах леса под пологом ели в большом количестве имеется подрост ели, что в бли-

жайшие годы может привести к смене сосновых насаждений еловыми. Такие трансформации сообществ негативно скажутся на видовом разнообразии памятника природы «Медведский бор» и региона в целом.

Библиографический список

1. Савиных Н. П., Лелекова Е. В., Шаклеина М. Н. О содействии естественному возобновлению *Pinus sylvestris* L. // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4. С. 108–113. doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-108-113
2. Савиных Н. П., Пересторонина О. Н., Киселёва Т. М. Состояние и возобновление сосновых лесов ООПТ «Медведский бор» // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 1 (5). С. 1359–1362.
3. Мелехов И. С. Лесоведение. М. : Лесная промышленность, 1980. 108 с.

ТИПЫ И ОСОБЕННОСТИ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «БЕЛАЕВСКИЙ БОР» (КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А. Д. Овечкина, О. Н. Пересторонина

Вятский государственный университет, oveskinaanna@gmail.com

В статье представлена характеристика различных типов сосновых насаждений на территории памятника природы «Белаевский бор» Нолинского района Кировской области, составленная при анализе таксационных описаний.

Ключевые слова: памятник природы, Белаевский бор, сосновое насаждение, тип леса.

В Нолинском районе Кировской области находится особо охраняемая природная территория «Белаевский бор». Территория памятника природы «Белаевский бор» относится к категории долинно-зандровых равнин Вятско-Камского Предуралья [1], расположенная на материковых дюнах с разнообразными степными видами растений и животных. Лесной массив располагается в подзоне хвойно-широколиственных лесов. Белаевский бор имеет статус комплексного (ландшафтного) регионального памятника природы с 1997 года.

В работе представлены результаты анализа таксационных описаний. Объектом исследования стали разнообразные типы лесных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Сосновые насаждения встречаются на территории площадью 611,4 га. Выявлено семь их типов (рис. 1): лишайниковый (Л), разнотравный (РТ), майниково-брусничный (МБ), майниково-черничный (МЧ), брусничный (Б), сфагновый (СФ), кисличный (К). По типу лесорастительных условий отмечены: А2 – песчаная свежая, слабооподзоленная почва; А3 – песчаная влажная средне-оподзоленная почва; А5 – торфянистая, мокрая почва; В2 – свежие серые и светлосерые супесчаные, слегка оподзоленные, реже с глинистыми прослойками почвы; В3 – серые супесчаные, средней оподзоленности со сле-

дами оглеения почвы; С2 – темно-серые и серые супесчаные, суглинистые почвы на легких и средних суглинках; С3 – супесчаная или легкосуглинистая, свежая почва.

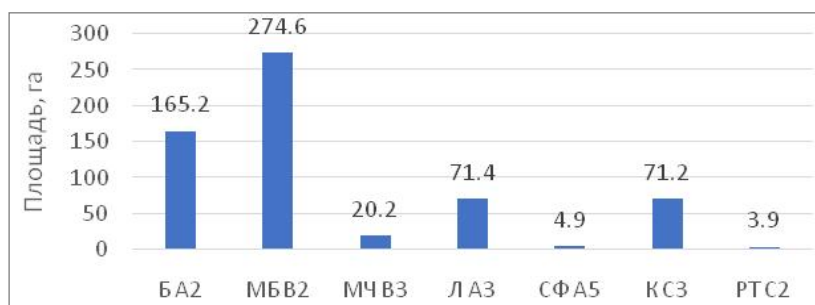


Рис. 1. Площадь сосновых насаждений по типам леса

Основываясь на полученных данных, установлено, что преобладают майниково-брусничные сосновые насаждения – 274,6 га, что составляет 45,5%, на втором месте – брусничные – 165,2 га (27%) и на третьем – лишайниковые – 71,4 га (11,7%). Наименьшую площадь занимают сосняки сфагнового – 4,9 га (0,8%) и разнотравного – 3,9 га (0,6%) типов. В современных условиях лишайниковые типы сосняков занимают по площади только третье место, наибольшие площади уже заняты насаждениями брусничной группы.

Анализ высоты деревьев сосны показал, что наиболее высокие встречаются в майниково-черничном типе – 28 м, в майниково-брусничном и кисличном – по 25 м; наименьшую высоту имеют особи в сообществах сфагнового типа – 16 м (рис. 2).

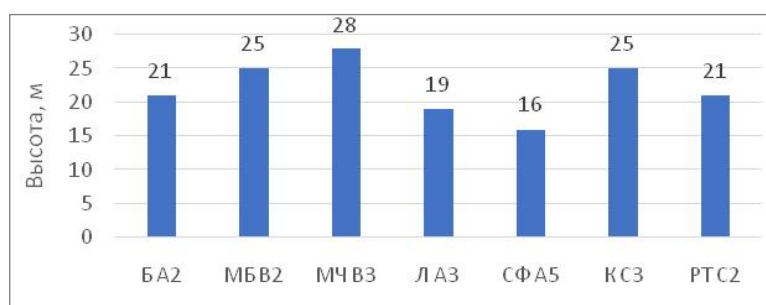


Рис. 2. Средняя высота деревьев сосны обыкновенной в сосновых насаждениях по типам леса

Наибольший диаметр ствола сосны обыкновенной выявлен в насаждениях майниково-черничного (36 см), майниково-брусничного (29 см) и кисличного (28 см) типов, а наименьший в – сосняках лишайниковых – 23 см (рис. 3).

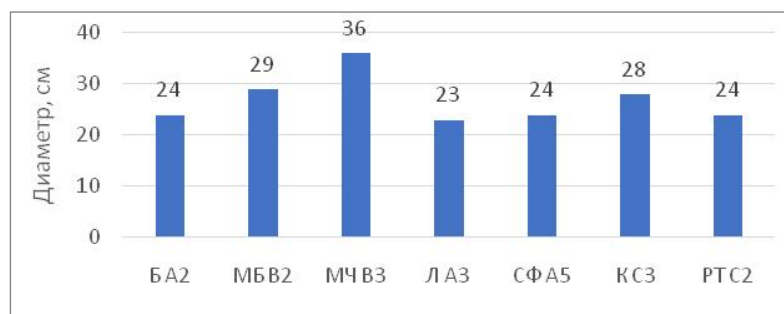


Рис. 3. Средний диаметр ствола *Pinus sylvestris* в сосновых насаждениях по типам леса

P. sylvestris в насаждениях майниково-черничного и сфагнового типов имеет возраст более 100 лет (рис. 4), а леса являются спелыми и перестойными; майниково-брусничные сообщества тоже приближаются к возрасту спелости. Наименьший возраст сосны в разнотравном типе сообществ – 65 лет.

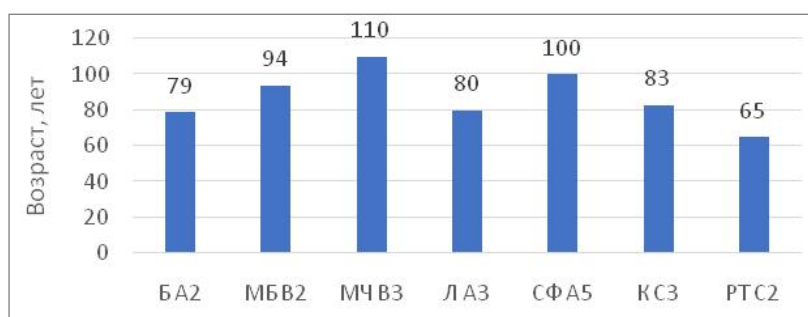


Рис. 4. Средний возраст деревьев *Pinus sylvestris* в насаждениях по типам леса

Высокобонитетные (I–II) сосновые насаждения в основном брусничного, майниково-брусничного, майниково-черничного, кисличного и разнотравного типов; низкобонитетными являются сфагновые леса (рис. 5).

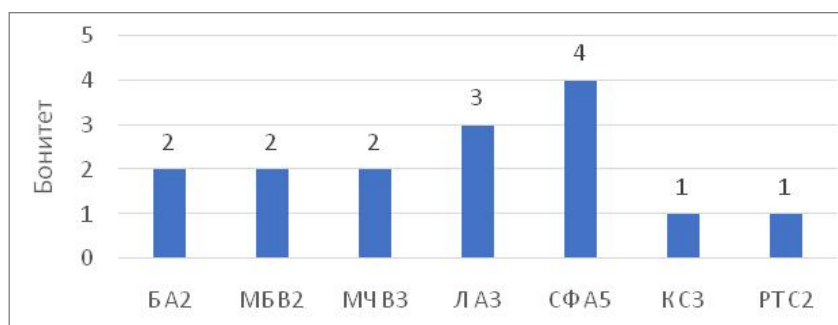


Рис. 5. Средний бонитет сосновых насаждений по типам леса

Насаждения всех типов среднеполнотные 0,6–0,7. Меньшую полноту (0,6) имеют сообщества майниково-брусничного и сфагнового типов (рис. 6), но и этого не достаточно для естественного возобновления сосны. Для поддержания и сохранения сосновых насаждений требуется снижать полноту до 0,4–0,5.

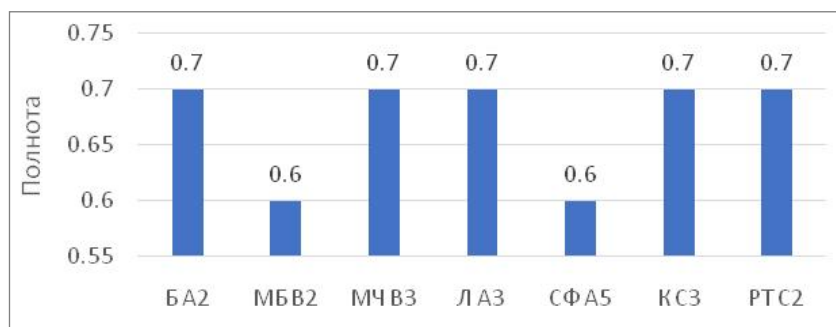


Рис. 6. Средняя полнота сосновых насаждений по типам леса

Как следствие, в условиях с отменой лесохозяйственной деятельности в сосновых насаждениях преобладает еловый подрост. Однопородный подрост (10Е) произрастает в майниково-черничном типе в числе 2 тыс. шт./га, возрастом 30 лет и высотой 6 м; а в кисличном типе – 2 тыс. шт./га, возрастом 20 лет и высотой 5 м. В майниково-брусничном типе леса преобладает еловый подрост (10Е) в числе 1,4 тыс. шт./га и возрастом 22 года, высотой 4 м; также присутствует и сосновый подрост (10С) – 1,5 тыс. шт./га, возрастом 20 лет и высотой 3 м.

В брусничном типе преобладает сосновый подрост (10С) в числе 2 тыс. шт./га, возрастом до 20 лет и высотой 2 м; присутствует также еловый подрост (10Е) – 1 тыс. шт./га, возрастом 20 лет и высотой 4 м.

Сосновый подрост (10С) встречается и в лишайниковом типе численностью 1 тыс. шт./га, возрастом 15 лет и высотой 1 м, и в сфагновом типе – 1,5 тыс. шт./га, возрастом 25 лет и высотой 2 м. В разнотравном типе подрост отсутствует.

В настоящее время на территории памятника природы «Белаевский бор» преобладающими сообществами являются зеленомошные боры с участием брусники, грушанок и других бореальных видов. Очень редко встречаются участки беломошно-зеленомошных боров. Сосновые леса лишайниковые и брусничные, способные к естественному самоподдержанию, в которых могут обитать виды растений лугово-степного комплекса, путем лесохозяйственной деятельности необходимо привести к световому режиму, обеспечивающему условия для возобновления сосны.

Библиографический список

1. Фациальная структура локальных геосистем памятника природы «Белаевский бор» / Р. Р. Чепурнов, И. А. Варган, О. Н. Пересторонина, А. М. Прокашев // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. 2015. Т. 25, вып. 2. С. 167–179.

СТРУКТУРА И СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ДЕНДРОПАРКА ЛЕСОВОДОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Я. Д. Гремитских, С. В. Шабалкина

Вятский государственный университет, Nasturtium2017@yandex.ru

В статье охарактеризованы особенности вертикальной структуры, жизненного состояния древостоя и подроста насаждений естественной части дендропарка лесоводов Кировской области по материалам 20 полных геоботанических описаний 2020–2021 гг. Выявлено, что преобладают берёзово-еловые леса, единичны – пихтово-еловый, елово-пихтовый и елово-сосновый сообщества. Подрост разнообразен по видовому составу, редкий и средний по высоте. Древостой и подрост оценены как здоровые.

Ключевые слова: вертикальная структура фитоценоза, дендропарк лесоводов Кировской области, жизненное состояние, растительное сообщество.

В городской среде одними из очагов сохранения биоразнообразия и биолого-просветительской деятельности можно рассматривать дендропарки. В нашей стране, согласно Федеральному закону «Об особо охраняемых природных территориях» [1], дендрологические парки и ботанические сады являются самостоятельной категорией и создаются «для формирования специальных коллекций растений в целях сохранения растительного мира и его разнообразия». Одним из северных является дендропарк лесоводов Кировской области, который расположен в Нововятском районе г. Кирова и заложен в 1962 г. В нём представлена уникальная коллекция древесно-кустарниковых растений и участки естественной лесной растительности. С 2010 г. он стал памятником природы регионального значения с четырьмя функциональными зонами [2]. Изучение состава, структуры и динамики биоты на территории дендропарка является актуальным и значимым. В этом сообщении освещены результаты исследования вертикальной структуры, жизненного состояния древостоя и подроста насаждений естественной части памятника природы.

Материалом для характеристики послужили 20 полных геоботанических описаний, выполненных по традиционным методикам [3] в течение 2020–2021 гг. Жизненное состояние деревьев оценивали, используя разработки В. А. Алексеева [4].

Среди описанных преобладают по числу деревьев в составе берёзово-еловые (10 пробных площадей) и елово-берёзовые (5 пробных площадей) насаждения; также встречаются ельники, пихтово-еловый, елово-пихтовый и елово-сосновый леса (рис.). Доминирование берёзово-еловых и елово-берёзовых лесов демонстрирует продолжающиеся восстановительные процессы, приводящие, по всей видимости, к становлению ельников подзоны южной тайги. Особенно ценно наличие пихтово-еловых и елово-пихтовых

сообществ, которые редки в настоящее время в Кировской области, хотя пихтово-еловый кисличный лес является зональным типом растительности этой подзоны [5].

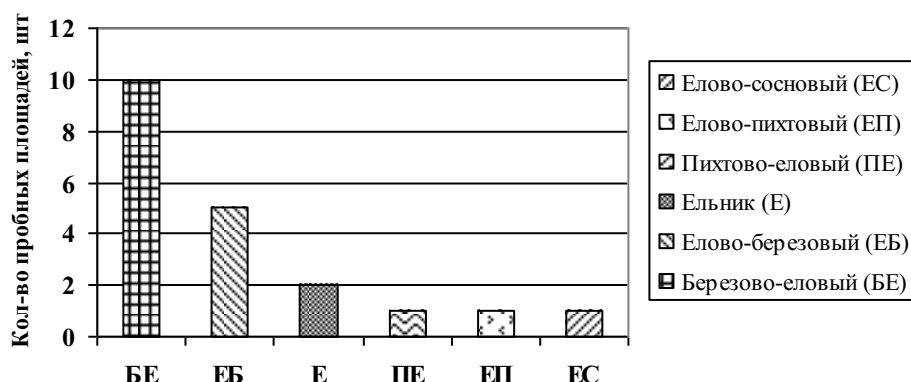


Рис. Разнообразие сообществ (по составу деревьев)

Древостой участка естественной растительности дендропарка представлен видами родов *Picea* A. Dietr. и *Betula* L., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* Ledeb., *Populus tremula* L. Доля ели в составе варьирует от 2 в елово-берёзовом кисличном лесу до 8 единиц в ельнике-черничнике, составляя в среднем 5–6 единиц. Часто встречается берёза (4–8 единиц); пихта сибирская произрастает в более половины описанных сообществ, преобладает в елово-пихтовом чернично-кисличном лесу (4 единицы), в основном её доля 10–30%, также встречается как примесь в берёзово-еловых сообществах с преобладанием черники и кислицы в травяно-кустарничковом ярусе. *Pinus sylvestris*, как и *Abies sibirica*, обитает также в более половины исследованных насаждений, её участие преимущественно от 5 до 20%, преобладает лишь в елово-сосновом кисличном лесу (состав 5С3Е1П1Б). *Populus tremula* в древостое встречается значительно реже, её доля 10%.

Сомкнутость крон во всех исследованных сообществах почти одинакова и составляет 0,5–0,7; наименьшая (0,4) отмечена в елово-пихтовом и елово-берёзовом насаждениях, наибольшая (0,7) – в берёзово-еловом и елово-сосновом лесах.

Наибольшее среднее значение диаметра ствола (30–32 см) имеют деревья ели в берёзово-еловых сообществах и в ельниках-черничниках. В елово-берёзовых и в пихтово-еловых чернично-кисличных лесах отмечено меньшее среднее значение диаметра ствола (около 22 см) этой породы. Средний диаметр ствола берёзы составил 33 см в берёзово-еловом чернично-кисличном сообществе; в остальных типах леса диаметр варьирует от 19 до 27 см. Средний диаметр ствола *Abies sibirica* в большинстве насаждений небольшой и изменяется от 15,2 до 25,4 см, наибольшее значение (34,1 см) определено у деревьев в пихтово-еловом чернично-кисличном лесу. *Populus tremula* и *Pinus sylvestris* отличаются наибольшим средним диаметром в составе берёзово-елового чернично-кисличного леса (31,1 и 35,5 см соответственно).

Древостой преимущественно двухъярусный, средняя высота особей ели варьирует от 15 до 29 м, берёзы – от 19 до 27 м, сосны обыкновенной от 14 до 29–30 м. Пихта сибирская характеризуется меньшими высотами по сравнению с предыдущими породами, составляя в среднем 17–21 м. Единичные деревья *Populus tremula* со средней высотой 26,5 м занимают первый ярус.

Число деревьев на 1 га варьирует от 550 до 1 275 шт., составляя в среднем чуть более 800 шт. Такая густота расположения особей оказала влияние и на бонитет. Преобладают насаждения 3 класса – 12 сообществ (или 60% от общего числа обследованных сообществ); II класс бонитета имеют 6 фитоценозов (или 30%). Четвертый класс бонитета отмечен для двух ельников-черничников, что составляет 10%. Таким образом, с точки зрения лесохозяйственной ценности сообщества характеризуются преимущественно средней продуктивностью.

Категория жизненного состояния деревьев большинства фитоценозов первая: породы оценены как здоровые (без признаков ослабления). Тем не менее, во всех сообществах встречены ослабленные деревья (вторая категория состояния), большая часть из них отмечена в ельнике-черничнике, елово-берёзовом кисличном и хвощевом, берёзово-еловом кислично-хвощевом и чернично-кисличном сообществах. Для ослабленных деревьев характерна разреженная крона, светло-зеленая хвоя и листья, отдельные засохшие ветви. Кроме того, в ельнике-черничнике и березово-еловом черничном лесах встречаются единичные экземпляры старого сухостоя, на которых хвоя (листья) отсутствует.

Следует отметить, что мероприятия по оздоровлению древостоя в дендропарке осуществляются. Так, 19 сентября 2020 г. проведена очистка территории от погибших и поврежденных деревьев силами сотрудников регионального министерства лесного хозяйства, студентов и преподавателей Кировского лесопромышленного колледжа; рубка и раскряжевка аварийных деревьев производилась вальщиками леса, специалистами «Лесоохраны». В ходе данного мероприятия было убрано порядка 200 деревьев [6].

Видимо, в том числе и поэтому, в соответствии с высчитанным индексом жизненного состояния, древостой является преимущественно здоровым: его значение варьирует от 81,1 до 96%. Лишь для елово-соснового кисличного леса индекс равен 79,2%, значение которого находится у верхнего предела для ослабленного (повреждённого) древостоя. Сложившийся тип лесорастительных условий не совсем благоприятен для развития *Pinus sylvestris*. Наибольшие значения индекса получились для пихтово-елового кисличного и елово-березового хвощевого сообществ – 95 и 96% соответственно.

В естественном возобновлении насаждений дендропарка участвуют виды родов *Picea* и *Betula*, *Abies sibirica*, *Acer platanoides* L., *Larix sibirica* Mill., *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Tilia cordata* Mill., *Quercus robur* L. Почти во всех исследованных фитоценозах встречается подрост ели, он редкий по численности (в среднем 1 300 шт./га), средний по высоте (1–1,5 м), крупный (1,8 м) отмечен лишь в сосново-еловом кисличном сообществе; произрастает

одинокими и группами. Возобновление пихты сибирской наблюдается почти в половине фитоценозов, подрост из неё средний по высоте (0,7–1,25 м), преобладает в елово-пихтовом чернично-кисличном и берёзово-еловом чернично-кисличном лесах (2400–4500 шт./га). Подрост дуба черешчатого отмечен во всех исследованных сообществах, кроме ельника-черничника и елово-берёзового кисличного леса; он невысокий (до 0,8 м) и достигает в численности 200–500 шт./га. Подрост клёна остролистного разной высоты, также редкий по численности и встречается в большей части сообществ (преимущественно в елово-берёзовых и берёзово-еловых). Возобновление берёзы происходит в елово-берёзовых лесах, подрост редкий (100–200 шт./га), средней высоты (0,75–0,95 м). Подрост осины отмечен на пяти пробных площадях, на которых также произрастают в основном елово-берёзовые и берёзово-еловые сообщества. Численность его составляет в среднем 200–400 шт./га, он преимущественно средний по высоте. Возобновление остальных пород наблюдается значительно реже, отмечено на единичных пробных площадях.

Подрост в основном жизнеспособный, тем не менее, в ельнике-черничнике, елово-берёзовом кисличном и елово-сосновом кисличном лесах часто встречаются нежизнеспособные особи. Индекс жизненного состояния подростка берёзово-еловых типов леса составил 92–99%, елово-берёзовых – 87–93%, ельников – 93%, пихтово-еловых – 90%, елово-сосновых – 88%. Значение индекса варьирует от 86,2 до 99,2%, поэтому, в целом жизненное состояние подростка на территории естественной части дендропарка можно оценить как здоровое. Несмотря на это, повреждения отмечены у молодых особей в сообществах девяти пробных площадей. Среди них: погрызы листьев мелколиственных пород и дуба черешчатого, коры ели, заболевания и сухие ветви ели.

Видовое разнообразие подлеска высокое и представлено 15 видами растений: *Sorbus aucuparia* L., *Lonicera xylosteum* L., *Frangula alnus* Mill., *Rubus idaeus* L., *Padus avium* Mill., *Amelanchier spicata* (Lam.) C. Koch, *Aronia mitschurinii* Skvortsov et Maitulina, *Ribes spicatum* Robson, *R. nigrum* L., *R. rubrum* L., *Malus sylvestris* Mill., *Rosa majalis* Herrm., *Viburnum opulus* L., *Euonymus verrucosa* Scop., *Swida alba* (L.) Opiz. Число видов кустарников на пробных площадях варьировало от двух до 10 в зависимости от типа леса. Наименьшее число видов (2) отмечено в пихтово-еловом кисличном и елово-сосновом кисличном сообществах. Сравнительно богатым видовым составом кустарников отличаются берёзово-еловые насаждения с преобладанием в травяно-кустарничковом ярусе черники и кислицы (8–10 видов).

Сомкнутость полога кустарникового яруса варьирует от 10 до 35 %: она выше в берёзово-еловом кисличном и чернично-кисличном сообществах; ниже – в ельнике-черничнике, елово-сосновом кисличном и елово-берёзовом кисличном лесах (10%). В большинстве елово-берёзовых сообществ сомкнутость полога составляет 20–30%. Наибольшее покрытие отмечено для *Sorbus aucuparia*, которая произрастает во всех исследованных фитоценозах, и составляет 5–15%. Сравнительно высоким процентом покрытия (5–10) обладает

Frangula alnus в елово-берёзовых сообществах. Немалое покрытие (12%) имеет *Rubus idaeus* в берёзово-еловом чернично-кисличном лесу, *Padus avium* – в берёзово-еловом кислично-хвощевом сообществе (15%). Участие остальных видов в покрытии меньше 5%.

Растения подлеска распределены по двум подъярусам: в первый входят *Sorbus aucuparia*, *Amelanchier spicata*, *Swida alba* и др., во второй – *Lonicera xylosteum*, *Rubus idaeus*, виды рода *Ribes* и др.

Наиболее благоприятные условия для произрастания *Sorbus aucuparia* выявлены в елово-берёзовом хвощевом, берёзово-еловом кислично-черничном и сосново-еловом кисличном лесах, для *Padus avium* – в берёзово-еловом кислично-хвощевом сообществе, где они характеризуются полной жизненностью (3 балла). Несколько угнетены кустарники в ельнике-черничнике, их жизненность оценивается как средняя (2 балла). Также средняя жизненность характерна для *Amelanchier spicata*, *Rubus idaeus*, *Euonymus verrucosa*, произрастающих в берёзово-еловых чернично-кисличных и кисличных сообществах.

В большинстве исследованных насаждений встречаются повреждения растений подлеска: погрызы листьев *Sorbus aucuparia*, *Lonicera xylosteum*, *Padus avium* и *Frangula alnus*; скелетирование и галлы на листьях рябины обыкновенной; наименьший процент повреждений растений отмечен в елово-берёзовых сообществах.

В целом, спектр видов кустарникового яруса типичен для лесов таёжной зоны, где располагается Кировская область. Встречаемость нехарактерных видов (например, *Amelanchier spicata*, *Swida alba*) обусловлена примыканием коллекционного участка, откуда эти таксоны и заносятся в естественную часть дендропарка.

Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса варьировало от 40 до 90%. В большинстве сообществ выделены микрогруппировки. В елово-берёзовых лесах они, как правило, из *Vaccinium myrtillus* L., *Oxalis acetosella* L., *Asarum europaeum* L., видов *Equisetum*. На всех (100 %) пробных площадях встречается *Oxalis acetosella*; на 15 (75%) – *Fragaria vesca* L.; на 14 (70%) – *Vaccinium myrtillus*; на 13 (65%) – *Asarum europaeum*; на 10 (50%) – *Carex digitata* L. и *Ajuga reptans* L.; на 9 (45%) – *Equisetum sylvaticum* L.; на 8 (40%) – *Trientalis europaea* L. и *Luzula pilosa* (L.) Willd.; на 7 (35%) – *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H. P. Fichs; на 6 (30%) – *Majanthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt, *Pyrola rotundifolia* L., *Prunella vulgaris* L., *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, *Vicia cracca* L. Остальные виды – *Viola canina* L., *Linnaea borealis* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Solidago virgaurea* L., *Melica nutans* L., *Rubus saxatilis* L., *Equisetum pratense* Ehrh., *Convallaria majalis* L., *Ranunculus auricomus* L., *Veronica officinalis* L., *Athyrium filix-femina* (L.) Roth и др. – отмечены менее, чем на 1/4 площадей.

По проективному покрытию в насаждениях преобладают преимущественно *Oxalis acetosella* и *Vaccinium myrtillus*; немаленький процент имеют *Fragaria vesca*, *Asarum europaeum*, *Ajuga reptans* в елово-берёзовых кислич-

ных и черничных типах леса; *Equisetum sylvaticum*, *Equisetum pratense*, *Athyrium filix-femina*, *Plantago major* L. – в елово-берёзовых хвощевых лесах.

Таким образом, видовой состав травяно-кустарничкового яруса также типичен для лесов южнотаёжной подзоны Кировской области; повсеместная встречаемость и преобладание по проективному покрытию в большинстве сообществ *Oxalis acetosella* дополнительно свидетельствуют о формировании ельника-кисличника.

Общее проективное покрытие мохового яруса изменяется от 10 до 90%. Его слагают виды *Sphagnum* L. и *Mnium* Hedw., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* Hedw., *Polytrichum commune* Hedw., *Dicranum scoparium* Hedw., *D. undulatum* Ehrh. и др. На большинстве пробных площадей (11–13) встречаются *Sphagnum*, *Pleurozium schreberi* и *Polytrichum commune*.

Таким образом, изучение структуры растительных сообществ естественной части дендропарка показало, что преобладающими являются берёзово-еловые леса со средней сомкнутостью крон 0,6; единичны – пихтово-еловый, елово-пихтовый и елово-сосновый насаждения. В естественном возобновлении участвуют порядка 10 лесообразующих видов. Подрост редкий, преимущественно средний по высоте, преобладают в его составе ель и пихта. Древостой, как и подрост, здоровые и имеют довольно высокие значения индексов жизненного состояния. Видовое разнообразие растений подлеска и травяно-кустарничкового ярусов в основном типичны для лесов подзоны южной тайги Кировской области. Изученные особенности структуры естественных фитоценозов позволяют предположить, что восстановительные процессы приведут к становлению, по всей видимости, ельника-кисличника. Однако, территория дендропарка подвергается в настоящее время интенсивной антропогенной нагрузке, что может оказать влияние и уже влияет на состояние насаждений.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 14 марта 1995 г. N 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях».
2. Постановление Правительства Кировской области от 28 декабря 2009 г. № 35/530 «Об объявлении дендрологического парка лесоводов Кировской области памятником природы регионального значения».
3. Методы изучения лесных сообществ. СПб. : НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
4. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
5. Зубарева Л. А. Растительный покров // Энциклопедия земли Вятской. Т. 7. Природа / сост. А. Н. Соловьев. Киров, 1997. С. 343–362.
6. В дендропарке очистили территорию от поврежденных деревьев [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kirovreg.ru/news/detail.php?ID=100881> (дата обращения: 25.04.2022).

СОСТОЯНИЕ КУЛЬТУР *PINUS SYLVESTRIS* L. НА ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ «МЕДВЕДСКИЙ БОР»

И. А. Коновалова, М. Н. Скоробогатая, Е. В. Лелекова, Е. Э. Душина
Вятский государственный университет,
S-dulcamara@yandex.ru, mariyashakleina@mail.ru,
Lelekovaev1980@mail.ru, lenochkadushina@mail.ru

Представлены результаты мониторинга 2021 г. трехлетних лесных культур сосны обыкновенной на территории двух кварталов особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Медведский бор». Выявлена зависимость состояния растений в насаждениях от сроков посадки и проведения уходных мероприятий. Установлена положительная динамика хода роста и развития сосен в культурах 55 квартала.

Ключевые слова: ООПТ «Медведский бор», сосна обыкновенная, лесные культуры, условия произрастания.

Особо охраняемая природная территория (ООПТ) «Медведский бор» представляет собой реликтовый сосновый массив площадью около 7 тыс. га, расположенный на материковых песчаных дюнах в Нолинском районе Кировской области. Территория обладает ярко выраженным карстовым рельефом, присутствием во флоре и фауне степных и неморальных видов.

Популяционный состав *Pinus sylvestris* L. на территории Медведского бора неоднороден [1, 2]. Однако, основу остепненных боров в голоцене составляли выходцы из южных популяций сосны обыкновенной [3]. Это растения с высокими показателями жизнестойкости и отличными товарными качествами древесины. Сохранять сосну наиболее продуктивной (южно-уральской) популяции на территории памятника природы при искусственном возобновлении рекомендовано сеянцами, развивающимися из семян местной репродукции [4]. Посадочный материал в этом случае выращивается с закрытой корневой системой (ЗКС).

Начиная с 2017 г., на месте сплошных санитарных рубок в Медведском бору созданы лесные культуры, развитие которых ежегодно оценивается в ходе мониторинговых мероприятий. Цель настоящего исследования – сравнить состояние лесных насаждений *P. sylvestris* 2018 г. посадки на территории двух кварталов памятника природы.

В мае 2018 г. в 14 выделе 55 квартала Медведского бора (N 57°24.429', E 050°03.859') однолетние сеянцы сосны с ЗКС высажены через 70 см в предварительно распаханые полосы. В сентябре этого же года лесные культуры созданы в 97 квартале (N 57°22.423', E 050°07.587') с использованием этого же посадочного материала. На протяжении трех лет за культурами в 55 квартале проводились уходы (устранение конкурентного влияния нежела-

тельной растительности; защита от вредителей и болезней), направленные на создание благоприятных экологических условий роста и развития лесных насаждений. В 97 квартале мероприятия не проводились в связи с труднодоступностью территории.

В сентябре 2021 г. проведена инвентаризация растений в лесных культурах 55 и 97 кварталов. Для этого были заложены пробные площадки длиной 10 м через каждые 10 м вдоль распаханых полос. Всего было заложено 20 площадок (по 10 для каждой культуры сосны), описано более 200 особей. Состояние растений оценивали по 7-ми выделенным критериям (табл.). Под высотой растения понимали длину его надземной части, которую измеряли рулеткой. Диаметр корневой шейки замеряли штангенциркулем в основании стебля. Вдоль оси главного побега считали число боковых; вокруг верхушечной почки определяли число пазушных почек. Прямой ствол, наличие развитой верхушечной почки принимали за 100 %, в ином случае – 0 %. В промежутке от 0 до 100 отмечали процент желтой и бурой хвои. Статистическую обработку данных проводили в программе Excel, где для выявления различий между группами применяли критерий Стьюдента (различия достоверны при $p < 0,05$).

Таблица

Характеристика сосны обыкновенной в лесных культурах

№	Критерий	55 квартал	97 квартал
1	Высота растения, см	78,1±1,8	41,6±1,6
2	Диаметр корневой шейки, см	1,7±0,05	1,1±0,04
3	Число боковых побегов, шт.	14,6±0,9	9,0±0,5
4	Число пазушных почек, шт.	6,0±0,2	4,3±0,2
5	Наличие прямого стволика, %	90,7	89,1
6	Наличие верхушечной почки, %	85,2	87,8
7	Наличие желтой и бурой хвои, %	7,9	2,5

Анализ результатов показал, что средние показатели у растений в культурах 55 и 97 кварталов в большей или меньшей степени различаются. Высота растений в насаждениях, созданных весной 2018 г. (55 квартал), в среднем составила 78,1 см, что в 1,8 раз выше, чем у сосен в культурах 97 квартала. Кроме того, особи в насаждениях 55 квартала отличаются обильным ветвлением (боковых побегов насчитывается в 1,6 раз больше), бóльшим диаметром корневой шейки (отмечены различия в 1,5 раза) и числом пазушных почек вокруг верхушечной (наблюдаются различия в 1,4 раза). Около 90% растений из лесных культур обоих кварталов имеют прямые стволики, у остальной доли особей наблюдается перевершинивание главного побега. Верхушечная почка более чем у 85% исследованных сосен развита хорошо. У растений из 55 квартала в три раза чаще наблюдается желтая хвоя. Однако, доля таких особей невелика и составляет около 8 % от общего числа.

Данные различия можно связать не только со временем посадки растений, но и с условиями их развития в лесных культурах. В насаждениях 55 квартала несколько раз за вегетационный сезон ежегодно выкашивались

травы и кустарники, сосны обрабатывались от вредителей и болезней. В 97 квартале, напротив, культуры созданы на месте сплошной рубки в основании склона на более увлажненной территории, активно зарастающей травами, что негативно отражается на такой светолюбивой породе, как сосна. В результате затенения саженцы здесь менее высокие и ветвящиеся, имеют меньшие показатели толщины стволика в области корневой шейки.

Следует отметить, что в развитии сосен в лесных культурах 55 квартала на протяжении трех лет наблюдается положительная динамика по ряду исследуемых параметров (рис.). Причем, если диаметр корневой шейки у растений увеличивается достаточно равномерно из года в год, то показатели числа боковых побегов и, особенно, высоты особей за вегетационный период 2021 г. выше относительно предыдущих сезонов. Число пазушных почек вокруг верхушечной, наоборот, отмечено больше в промежутке с 2019 г. по 2020 г.

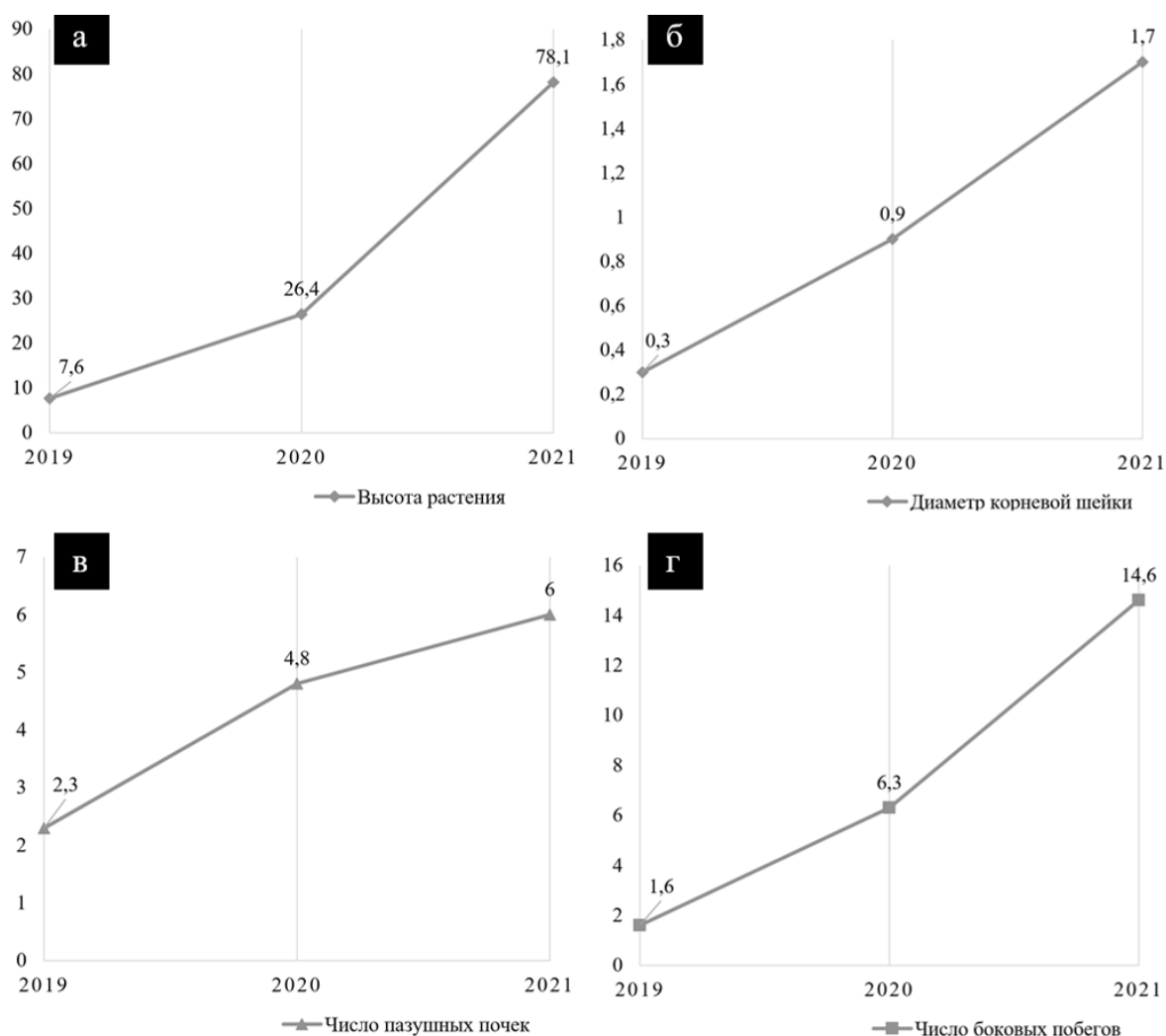


Рис. Динамика ряда показателей лесных культур сосны обыкновенной 55 квартала за 2019–2021 гг. мониторинга: а – высота растений; б – диаметр корневой шейки; в – число пазушных почек; г – число боковых побегов

Таким образом, в ходе мониторинговых мероприятий 2021 г. выявлено, что состояние трехлетних лесных культур *P. sylvestris* на территории двух кварталов памятника природы различно: значения ряда показателей у растений в культурах 55 квартала превалируют над таковыми у особей в насаждениях 97 квартала. Различия объясняются сроками посадки растений в течение вегетационного сезона и наличием уходовых мероприятий, направленных на установление благоприятного светового режима для саженцев и их защиту от вредителей и болезней. По результатам трехлетнего мониторинга сосен в лесных культурах 55 квартала установлена положительная динамика роста и развития растений.

Библиографический список

1. Основы устойчивого сохранения остепненных боров в пределах особо охраняемых природных территорий / Н. П. Савиных, О. Н. Пересторонина, А. И. Видякин, А. Г. Гальвас // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. 2014. № 7. С. 62–65.
2. Савиных Н. П., Лелекова Е. В., Шаклеина М. Н. О содействии естественному возобновлению *Pinus sylvestris* L. // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 4. С. 108–113. doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-108-113
3. Видякин А. И. Миграция в голоцене и популяционная структура *Pinus sylvestris* L. на востоке европейской части России // Жизнь популяций в гетерогенной среде. Йошкар-Ола : МарГУ, 1998. Ч. 2. С. 4–12.
4. Савиных Н. П., Пересторонина О. Н., Шабалкина С. В. Проблемы сохранения биоразнообразия при искусственном возобновлении в сосняках // Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению : сб. статей по материалам Междунар. конф., посвященной 100-летию кафедры ботаники Тверского государственного университета. Тверь : Тверской государственный университет, 2017. С. 353–356.

СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ПОДЗОНЫ ЮЖНОЙ ТАЙГИ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. А. Тетерин¹, Н. П. Савиных²

¹ Министерство лесного хозяйства Кировской области,
teterin-andrej@yandex.ru

² Вятский государственный университет, savva_09@mail.ru

В статье представлена характеристика одного из самых ранних опытов выращивания лиственничников в Кировской области. В ходе натурных исследований изучены основные геоботанические и таксационные показатели сформировавшегося растительного сообщества. Проведено сравнение основных лесоводственных, геоботанических и эколого-ценотических характеристик этого фитоценоза с нормальными древостоями лиственницы сибирской соответствующего возраста.

Ключевые слова: лиственница сибирская, эколого-ценотическая группа, биоразнообразие, продуктивность древостоя.

Основными принципами рационального лесопользования и устойчивого развития общества являются своевременное качественное воспроизводство лесов с сохранением биологического разнообразия, повышением ресурсного и рекреационного потенциала, обеспечением поддерживающей и регулирующей функций [1] этих фитоценозов. Общеизвестно, что восстановление лесов целесообразнее проводить в первую очередь хозяйственно-ценными видами деревьев. Наиболее высокими показателями продуктивности, качества древесины, синтеза и содержания ценных, в том числе лекарственных и технических веществ, устойчивости к биотическим и абиотическим факторам среды, многообразием средообразующих функций из хвойных деревьев в России обладает лиственница сибирская (*Larix sibirica* Led.) [2]. Это – один из наиболее распространенных лесобразующих видов в России: лиственничники занимают 41,6% покрытой лесом площади страны [2, 3].

Кировская область – один из крупнейших лесных регионов Европейской России. Площадь земель, занятых лесами, составляет около 8,14 млн. га (62,7% территории). По объемам заготовки древесины регион занимает 5-е место среди субъектов РФ. В связи с этим проблема восстановления высокопродуктивных лесов в регионе своевременна и актуальна.

Цель исследования – оценить состояние посадок лиственницы сибирской на северо-восточной границе южной тайги в Кировской области для выявления возможностей её использования в воспроизводстве лесов региона. Для этого – сравнение посадок с нормальными насаждениями соответствующего возраста и их особенностей в обеспечении экосистемных функций.

Объект исследования – насаждение *L. sibirica* в 9 выделе 13 квартала Афанасьевского участкового лесничества Афанасьевского лесничества (лесной район южной тайги Европейской части РФ) на территории Кировской области. Расположено к северо-востоку от д. Трапезные, в пойме р. Кама, на площади 1,2 га. Лесные культуры лиственницы сибирской были созданы в 1905 г. посадкой в дно плужных борозд. Информация о расстоянии между центрами борозд, шаге посадки, первоначальной густоте посадки не сохранилась.

В 1992 г. посадки включены в состав особо охраняемой природной территории (ООПТ) – ботанический памятник природы регионального значения «Лиственничные посадки 1905 года» [4]. В период с 1992 г. по настоящее время проводили очистку территории от захламленности, убирали сухостой. Дополнительные мероприятия по уходу, согласно таксационным описаниям, не проводили.

По ботанико-географическому районированию посадки расположены на северо-восточной границе подзоны южной тайги в северной агроклиматической зоне Кировской области [5]. С юга от посадок находится поле, заросшее березой пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.), осинкой (*Populus tremula* L.) и елью обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst; с запада – ельник-кисличник с пихтой сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) (согласно таксационному описанию, состав древостоя – 8Е2П, возраст 95 лет, тип лесорастительных условий С3);

с севера и востока – сосняк-кисличник (согласно таксационному описанию, состав древостоя – 9С1Е+К+П, возраст 85 лет, тип лесорастительных условий С3). Почва под пологом леса в основном дерново-подзолистая супесчаная, хорошо дренированная.

В наиболее типичном месте лиственничника (58°86'8122" с.ш., 53°19'9194" в.д.) заложена пробная площадь (ПП) размером 50 x 40 м. Для оценки экосистемных услуг сообщество изучено с лесоводственных, геоботанических и эколого-ценотических позиций. По таксационному описанию и в ходе натурного обследования отмечены особенности и состав лесного участка. На ПП определены таксационные показатели древостоя по традиционным методикам исследований лесных экосистем [6]. Состояние древостоя оценивали согласно нормативно-справочным материалам «Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии» [7], в сравнении с нормальными древостоями (термин М. М. Орлова) [8], как сообществами, максимально использующими природные ресурсы и имеющими в данных условиях наибольшую производительность. У показателей высоты и диаметра стволов деревьев определены средние, минимальные и максимальные значения. В ходе полевых работ использовали текстолитовую мерную вилку, ультразвуковой высотомер, дальномер, угломер VERTEX IV.

В соответствии с геоботаническими методиками исследований [9] на ПП отмечены состав древостоя по преобладающим в фитоценозе видам, наличие и состояние подроста, состав травянисто-кустарничкового яруса, мохового покрова. Сделаны прикопки для определения особенностей почвы.

Для выявления степени сформированности целостного лесного сообщества установлен спектр эколого-ценотических групп (ЭЦГ) растений как групп видов, сходных по отношению к совокупности экологических факторов и отражающих особенности ландшафтно-экологических условий [10–11].

Все полученные данные соотнесены при обсуждении результатов.

В ходе полевых исследований и камеральных работ получены данные о составе и состоянии древостоя, подростка, травяно-кустарничкового яруса, спектре ЭЦГ лиственничника.

Древостой представлен лиственницей с единичными деревьями сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) возрастом 100 лет, выросшими из семян, занесенных с соседних участков. Общее число деревьев лиственницы – 825 шт. / га. Средний диаметр ствола 27,5 см; средняя ступень толщины «28» представлена у 28 деревьев, наименьшая – «12» – у двух деревьев, наибольшая – «48» – у четырёх. Средняя высота дерева – 31,5 м (колеблется от 25,0 м до 32,5 м). Общий запас древесины 680 м³ / га. Средний класс бонитета I (табл. 1).

Согласно нормативно-справочным материалам [12], леса данного класса бонитета возрастом 120 лет характеризуются наличием 426 деревьев на 1 га со средней высотой 30,8 м, средним диаметром ствола 36,3 см; запасом стволовой древесины 646 м³ / га (табл. 1). По сравнению с этими данными де-

ревья в рассматриваемом сообществе выше на 0,8 м, диаметр меньше на 8,8 см; средний объем древесины на одну особь ниже на 0,69 м³ / га; прирост древесины в год – на 0,06 см. Но запас древесины в сообществе больше на 64 м³ / га.

Таблица

Характеристика исследованного участка

№	Признак	ПП	Нормальный древостой
1	Густота, шт. / га	825	426
2	Высота, м	31,5	30,8
3	Средний диаметр, см	27,5	36,3
4	Запас древесины, м ³ / га	680	646
5	Бонитет	1	1
6	Средний объем древесины одного дерева, м ³	0,82	1,51
7	Средний прирост древесины, см / год	0,24	0,30
8	Наличие и видовой состав подроста на ПП	Пихта, ель	–
9	Спектр ЭЦГ кустарников	2Nt 1BrH 1 Br 1Nm	–
10	Спектр ЭЦГ травяно-кустарничкового яруса	9Nm 9Md 5Br_m 2Nh 2Nt 1Br	–

Примечание: ЭЦГ – эколого-ценотическая группа: Nm – неморальная; Md – луговая и лугово-опушечная; Br_m – бореальная мелкотравная; Nh – бореальная высокотравная; BrH – бореальная опушечная высокотравная; Nt – нитрофильная; Br – бореальная. Цифрой в спектре ЭЦГ указано число видов этой группы.

Густота древостоя выше нормальных лиственничных насаждений на 399 штук или на 48%. Это является основной причиной меньшего среднего диаметра насаждения на 8,8 см. В подросте отмечены единичные особи основных лесообразующих пород региона – пихты, ели (табл. 1). Подрост редкий (менее 500 шт. / га), крупный, со средней высотой 1,5 м.

В составе сообщества присутствуют виды 7 ЭЦГ (табл. 2). Подлесок образован нитрофильными, неморальным, бореальным и бореально опушечным высокотравными видами. Общий спектр ЭЦГ травяно-кустарничкового яруса по числу видов в этом сообществе следующий: неморальная – 9 видов (32,1%); виды сухих лугов – 9 представителей (32,1%); бореальная мелкотравная – 5 представителей (17,9%); по два вида – бореальное высокотравье и нитрофильная (по 7,1%); бореальные – 1 вид (3,6%).

В составе травяно-кустарничкового яруса отдельно следует отметить наличие горницета сибирского (*Adonis sibirica* Patr. ex Lebed). Он распространен в Европе, Сибири, Средней Азии и Монголии; в России – на северо-востоке Европейской части и Сибири; в Кировской области отмечен в Афанасьевском и Верхнекамском районах [13]. Горницет сибирский занесен в Красные книги Кировской области и ряда других субъектов России [13].

Таблица 2

**Эколого-ценотические группы растений изученного участка
(по: Смирнов и др. [9])**

Виды растений	ЭЦГ
1	2
Подрост	
Пихта сибирская – <i>Abies sibirica</i> Ledeb.	Br
Ель обыкновенная – <i>Picea abies</i> L.	Br
Подлесок	
Жимолость лесная – <i>Lonicera xylosteum</i> L.	Nm
Малина обыкновенная – <i>Rubus idaeus</i> L.	BrH
Рябина обыкновенная – <i>Sorbus aucuparia</i> L.	Br
Смородина красная – <i>Ribes rubrum</i> L.	Nt
Черемуха птичья – <i>Padus avium</i> Mill	Nt
Травянистый ярус	
Бодяк огородный – <i>Cirsium oleraceum</i> (L.) Scop.	Nt
Будра плющевидная – <i>Glechoma hederacea</i> L.	Nm
Вероника дубравная – <i>Veronica chamaedrys</i> L.	Md
Воронец красноплодный – <i>Actaea erythrocarpa</i> Fisch.	Hh
Герань лесная – <i>Geranium sylvaticum</i> L.	Br
Горицвет сибирский – <i>Adonis sibirica</i> Patr. ex Lebed.	Md
Гравилат городской – <i>Geum urbanum</i> L.	Nm
Живучка ползучая – <i>Ajuga reptans</i> L.	Md
Звездчатка жестколистная – <i>Stellaria holostea</i> L.	Nm
Земляника лесная – <i>Fragaria vesca</i> L.	Md
Кислица обыкновенная – <i>Oxalis acetosella</i> L.	Br_m
Копытень европейский – <i>Asarum europaeum</i> L.	Nm
Костяника каменистая – <i>Rubus saxatilis</i> L.	Br_m
Крапива двудомная – <i>Urtica dioica</i> L.	Hh
Луговик дернистый – <i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P.Beauv.	Md
Лютик многоцветковый – <i>Ranunculus polyanthemus</i> L.	Md
Майник двулистный – <i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F. W. Schmidt	Br_m
Недотрога обыкновенная – <i>Impatiens noli-tangere</i> L.	Nt
Ожика волосистая – <i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	Br_m
Осока корневищная – <i>Carex rhizina</i> Blytt ex Lindblom	Nm
Осока пальчатая – <i>Carex digitata</i> L.	Nm
Подорожник большой – <i>Plantago major</i> L.	Md
Пырей ползучий – <i>Elytrigia repens</i> (L.) Desv. ex Nevski	Md
Седмичник европейский – <i>Trientalis europaea</i> L.	Br_m
Сныть обыкновенная – <i>Aegopodium podagraria</i> L.	Nm
Фиалка удивительная – <i>Viola mirabilis</i> L.	Nm
Черноголовка обыкновенная – <i>Prunella vulgaris</i> L.	Md
Щитовник игольчатый – <i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P.Fuchs	Nm
Мхи, лишайники	
Гипогимния вздутая – <i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	
Дикран горный – <i>Dicranum montanum</i> Hedw.	
Дикран метловидный – <i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	
Кладония листоватая – <i>Cladonia foliacea</i> (Huds.) Willd.	
Кладония порошистая – <i>Cladonia convoluta</i> Lam.	

1	2
Мниум цинклидиевидный – <i>Mnium cinclidioides</i> (Hueb.) T. Кор.	
Родобриум розетковидный – <i>Rhodobryum roseum</i> (Hedw.) Limpr.	
Эверния сливовая – <i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.	
Спектр ЭЦГ	10Nm 9 Md 5Br_m 2Nh 1BrH 4Nt 4Br

Примечание: сокращения те же, что в таблице 1.

Таким образом, за 117 лет в результате искусственного восстановления сформировался лиственничник, параметры которого в основном соответствуют нормальному насаждению этого возраста. При этом средний запас древесины в них почти в три раза превышает аналогичные показатели древостоев сосны (218 м³/га), ели (239 м³/га) и березы (209 м³/га) в спелых и перестойных хвойных лесах региона [14]. Это свидетельствует в пользу выращивания лесов из *L. sibirica* для обеспечения ресурсных функций лесных экосистем.

В сообществе поддерживается состав неморальных видов растений, характерных для ельников южной тайги. Кроме того, здесь произрастает охраняемый редкий вид региона *Adonis sibirica*, а также представитель высокотравья воронец красноплодный (*Actaea erythrocarpa*), что свидетельствует о способности лиственничников поддерживать биоразнообразие региона.

В подзоне южной тайги возможно выращивание полноценных лиственничных лесов. Воспроизводство лесов в подзоне южной тайги Кировской области за счет *L. sibirica* способно повысить их ресурсные функции. Создание лиственничников в подзоне южной тайги будет способствовать сохранению биоразнообразия, в том числе редких и охраняемых видов трав.

Библиографический список

1. Основы устойчивого лесопользования: учеб. пособие для вузов / М. Л. Карпачевский, В. К. Тепляков, Т. О. Яницкая, А. Ю. Ярошенко. М. : Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009. 143 с.
2. Карасева М. А. Лиственница сибирская в Среднем Поволжье. Йошкар Ола : МарГТУ, 2003. 376 с.
3. Пак Л. Н. Оценка выживаемости и роста потомства лиственницы (*Larix*) разного географического происхождения в Восточном Забайкалье // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 189–195. doi: 10.25750/1995-4301-2021-2-189-195
4. Человек и природа // Материалы районной конференции (10 апреля 2017 г.) / сост. В. Бузмакова. Афанасьевое : МБУК «Афанасьевская центральная районная библиотека», 2017. 47 с.
5. Природа Кировской области / под общ ред. С. Л. Щеклеина, А. И. Шернина. Киров : Кировское книжное изд-во. 1960. 252 с.
6. Пилипко Е. Н. Методология исследований лесных экосистем : методическое пособие. Вологда-Молочное : ИЦ ВГМХФ, 2013. 113 с.
7. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии (нормативно-справочные материалы) / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко, С. Нильссон, Ю. И. Булуй. 2-е изд., дополненное. М., 2008. 886 с.
8. Орлов М. М. Лесная таксация. 2-е изд. Л. : Техиздат, 1925. 532 с.

9. Ипатов В. С., Миркин Д. М. Описание фитоценоза: методические рекомендации. СПб.: СПбГУ, 2008. 71 с.

10. Смирнов В. Э., Ханина Л. Г., Бобровский М. В. Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // Бюлл. МОИП. Отдел биол. 2006. Т. 111, вып. 2. С. 36–47.

11. Смирнова О. В., Ханина Л. Г., Смирнов В. Э. Эколого-ценотические группы в растительном покрове лесного пояса Восточной Европы // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. Кн. 1. / отв. ред. О. В. Смирнова. М. : Наука, 2004. С. 165–175.

12. Таблицы и модели роста и продуктивности основных лесообразующих пород Северной Евразии. Одобрены Федеральным агентством лесного хозяйства и рекомендованы для использования в практической лесохозяйственной деятельности (протокол заседания Совета Федерального агентства лесного хозяйства № 2 от 08.06.2006). 21.

13. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. Изд. 2-е / под ред. О. Г. Барановой, Е. П. Лачохи, В. М. Рябова, В. Н. Сотникова, Е. М. Тарасовой, Л. Г. Целищевой. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.

14. Лесной план Кировской области, утвержденный Указом Губернатора Кировской области от 29.12.2018 № 165.

ИЗУЧЕНИЕ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ С АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ г. КОСТРОМЫ

Э. В. Марамохин, А. В. Девятилова, В. В. Игнатова

Костромской государственный университет, maramokhin91@mail.ru

В данной статье описываются некоторые лесные биогеоценозы окрестностей г. Костромы, где отмечается выраженное антропогенное влияние. Дается их сравнительная характеристика с использованием программы EcoScaleWin и коэффициента видового сходства Жаккара.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, геоботаническая площадка, индекс Жаккара, лесной биогеоценоз, программа EcoScaleWin, растительность.

Лес является одним из главнейших видов природных богатств, имеющих огромное значение в общественном производстве и в жизни человека. Он – важнейший фактор в экологическом равновесии биосферы, крупнейший накопитель солнечной энергии и биологической массы, один из источников кислорода на Земле [1].

В настоящее время лесные сообщества испытывают значительную антропогенную нагрузку, особенно вблизи крупных городов. Деятельность человека оказывает на них существенное, чаще всего отрицательное влияние, и приводит к обеднению флористического состава, и как следствие – потере климатической устойчивости [2]. Чаще всего негативное влияние человека связано с лесными рубками, вытаптыванием травянистых растений, загрязнением лесов токсическими веществами, неконтролируемым использованием не-

древесных ресурсов леса [3, 4]. В связи с этим изучение влияния человеческой деятельности на лесные биогеоценозы является одним из приоритетных направлений в современной экологии.

Лесные биогеоценозы в окрестностях г. Костромы изучали в полевой сезон 2022 года. Были исследованы три территории: сосняк разнотравный в парке «Берендеевка» – особо охраняемая природная территория (ООПТ) рекреационного назначения; березняк разнотравный в районе ТЭЦ-2 и липняк разнотравный в парке Победы. Выполняли работы по определению флористического состава, проводили геоботанические описания с заложением шести геоботанических площадок по 20 м² (по две для каждой территории) [5]. Для обозначения границ площадок применяли колья-рейки и заградительную ленту. Покрытие у каждого вида растений определяли по шкале Браун-Бланке [6]. Все полученные данные обработаны по амплитудным шкалам Д. Н. Цыганова и Л. Г. Раменского, а также по точечным шкалам Г. Элленберга и Э. Ландольта с помощью программы EcoScaleWin методом средневзвешенной середины интервала [7].

Флористическое сходство оценено посредством индекса Жаккара [8] по формуле:

$$J = \frac{N(A+B)}{N(A) + N(B) - N(A+B)},$$

где N(A) – число видов, входящих в сообщество А; N(B) – число видов, входящих в сообщество В; N(A+B) – число видов, общих для сообществ А и В.

В результате обработки материалов по шкалам разных авторов с использованием программы EcoScaleWin получены следующие данные биотопа. По температурной шкале климат умеренно теплый. Представленные виды широко распространены, избегают экстремально континентальных районов, могут выдерживать как суровые, так и умеренные зимы. По отношению к свету растения на данных территориях относятся к полутеневым (или полусветовым).

В парке «Берендеевка» почва имеет среднее увлажнение и кислотность. По богатству минерального питания почва является среднебогатой. По засоленности – мезотрофной со средним содержанием азота и гумуса. Гранулометрический состав почвы по большей части тонкопесчаный, пылеватый, более или менее вентилируемый, с хорошей проницаемостью.

Лесной участок в индустриальном районе ТЭЦ-2 имеет среднеувлажненные и слабокислые почвы, в которых присутствует достаточное количество гумуса. Почва по большей части бедна элементами минерального питания, азотом и солями. Гранулометрический состав почв тонкопесчаный, пылеватый, более или менее вентилируемый.

Лес в парке Победы имеет почвы с умеренной кислотностью, довольно богаты азотом и минеральным питанием. Содержание гумуса среднее. Увлажнение на каждом участке варьирует от умеренной сухости, до хорошей увлажнённости. Гранулометрический состав почв также изменяется от тонко-

песчаных, более или менее вентилируемых, до песчаных почв с хорошей вентиляцией.

В процессе геоботанических описаний исследовали также флористический состав биогеоценозов. Всего выявлен 41 вид растений. Наибольшее видовое разнообразие представлено в парке Победы (24 вида), наименьшее (18 видов) – в лесу около ТЭЦ-2 (табл. 1).

Таблица 1

Видовое разнообразие растений на изучаемых территориях

Вид	Парк «Берендеевка» Сосняк разнотравный	ТЭЦ-2 Березняк разнотравный	Парк Победы Липняк разнотравный
1	2	3	4
<i>Betula pendula</i> Roth.	+	+	+
<i>Pinus sylvestris</i> L.	+		+
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	+	+	+
<i>Acer platanoides</i> L.	+		
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn.	+		
<i>Quercus robur</i> L.	+		
<i>Salix cinerea</i> L.		+	+
<i>Syringa vulgaris</i> L.			+
<i>Tilia cordata</i> Mill.			+
<i>Matteuccia struthiopteris</i> (L.) Tod.	+		
<i>Ajuga reptans</i> L.	+		+
<i>Urtica dioica</i> L.	+	+	+
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	+		
<i>Fragaria vesca</i> L.	+		
<i>Aegopodium podagraria</i> L.	+	+	
<i>Convallaria majalis</i> L.	+		
<i>Chelidonium majus</i> L.	+	+	+
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	+		
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	+	+	+
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	+		
<i>Rumex confertus</i> Willd.	+		
<i>Ranunculus repens</i> L.	+	+	+
<i>Taraxacum officinale</i> (L.) Wigg.	+	+	+
<i>Armoracia rusticana</i> Gaertn.		+	
<i>Campanula patula</i> L.		+	
<i>Poa pratensis</i> L.		+	+
<i>Mentha piperita</i> L.		+	
<i>Alchemilla vulgaris</i> L.		+	
<i>Rumex acetosa</i> L.		+	
<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Bess.		+	
<i>Conium maculatum</i> L.			+
<i>Tanacetum vulgare</i> L.		+	+
<i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl.		+	+
<i>Chaerophyllum aromaticum</i> L.			+
<i>Trifolium pratense</i> L.	+		+
<i>Vicia cracca</i> L.			+

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
<i>Plantago major</i> L.			+
<i>Bistorta officinalis</i> Delarbre			+
<i>Artemisia vulgaris</i> L.			+
<i>Stellaria nemorum</i> L.			+
<i>Arctium lappa</i> L.			+
Всего	21	18	24

Наименьшее видовое разнообразие в индустриальном районе ТЭЦ-2 можно объяснить наибольшим антропогенным влиянием: данный лесной биогеоценоз находится в непосредственной близости с действующей теплоэлектроцентралью, которая оказывает прямое негативное влияние на экологическое состояние биотопа, что в итоге сказывается как на биоценозе в целом, так и на растениях в частности.

Наименьшая антропогенная нагрузка отмечена в лесном биогеоценозе рядом с парком Победы. В местонахождении этого лесного сообщества отсутствуют промышленные предприятия, ограничено движение транспортных средств, не производится вырубка.

Рассчитанный коэффициент видового сходства Жаккара показал, что наибольшее его значение отмечено между липняком разнотравным рядом с парком Победы и сосняком разнотравным в парке «Берендеевка» и равен 0,36 (табл. 2). На этих же участках в целом антропогенная нагрузка меньше. Наименьшее значение коэффициента флористического сходства установлено между сосняком и березняком разнотравными: он составляет 0,26. Это связано, по-видимому, с бедностью видового состава растений лесного сообщества у ТЭЦ-2.

Таблица 2

Значение коэффициента видового сходства

	Парк «Берендеевка»	ТЭЦ-2	Парк Победы
Парк «Берендеевка»		0,26	0,36
ТЭЦ-2			0,35
Парк Победы			

Таким образом, фитоценозы всех обследованных территорий имеют среднее увлажнение, а почвы незначительно варьируют по кислотности, содержанию азота и минерального питания. Растения широко распространены, могут выдерживать суровые и умеренные зимы, имеют среднюю потребность по отношению к свету и температуре. Антропогенная нагрузка преобладает в лесном сообществе около ТЭЦ-2: тут отмечено наименьшее видовое флористическое разнообразие. Наименьшая антропогенная нагрузка в парке Победы в связи с отсутствием промышленных предприятий и других негативных факторов. Значения коэффициентов Жаккара свидетельствуют о невысоком флористическом сходстве обследованных фитоценозов.

Библиографический список

1. Учебная полевая практика по геоботанике : учебно-методическое пособие / сост. Г. А. Сорокина, Н. В. Пахарькова, Т. Л. Шашкова, М. А. Субботин. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. 30 с.
2. Зиновьева И. С. Современные пути устойчивого развития лесного сектора в России // Современные направления теоретических и прикладных исследований – 2008 : сб. науч. трудов по материалам междунар. науч.-практ. конф. Т. 10. Экономика. Одесса : Черноморье, 2008. С. 73–75.
3. Лиханова Н. В., Бобкова К. С. Пулы и потоки углерода в экосистемах вырубки ельников средней тайги Республики Коми // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 91–100. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-091-100
4. Кондакова Л. В., Безденежных К. А., Ашихмина Т. Я. Альгологический анализ состояния почв в районе объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 23–29. doi: 10.25750/1995-4301-2019-1-023-029
5. Сукачёв В. Н., Зонн С. В. Общие принципы и программа изучения типов леса // Методические указания к изучению типов леса. 2-е изд. М. : Изд-во АН СССР, 1961. С. 9–75.
6. Braun-Blanquet J. Plant Sociology. New York : McGraw-Hill Book Company, 1932.
7. Зубкова Е. В. Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с помощью программы EcoScailWin. Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, Пущинский гос. ун-т, 2008. 96 с.
8. 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. S. 241–272.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИТОХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ЭКСТРАКТА ВИНОГРАДА

Я. И. Зяблицева, М. Д. Головьев, Т. А. Адамович

Вятский государственный университет, ziablitsevaiana@gmail.com

В статье представлены экспериментальные данные по исследованию фитохимических компонентов в различных экстрактах винограда культурного (*Vitis vinifera* L.) сорта «Молдова». Установлено, что этот сорт является источником биологически активных веществ, обуславливающих антиоксидантную активность винограда – полифенолов, флавоноидов и дубильных веществ. Полученные данные могут быть использованы для синтеза новых БАД и лекарственных форм.

Ключевые слова: полифенолы, флавоноиды, антиоксидантная активность, дубильные вещества, кулонометрический метод, спектрофотометрический метод, экстракт растительного происхождения, виноград.

Экстракты винограда содержат многочисленные фитохимические соединения, обладающие мощным антиоксидантным действием, по силе превышающем аскорбиновую кислоту и α -токоферол в несколько десятков раз [1].

Фитохимические компоненты в винограде в основном включают аскорбиновую кислоту, а также многочисленные полифенольные соединения, например, флавоноиды и дубильные вещества, обладающие антиоксидантными свойствами, напрямую связанными с поддержанием здоровья человека. Потребление этих веществ предотвращает возможное развитие дегенеративных заболеваний у людей в будущем за счет связывания активных форм кислорода (АФК), обеспечивая защиту клетки от перекисного повреждения [2].

Витамин С или аскорбиновая кислота представляет гидрофильную молекулу, состоящую из шести атомов углерода, аналогичную глюкозе [3]. Он играет важную роль во многих биохимических реакциях клеточного метаболизма, в том числе участвует в первой линии антиоксидантной защиты, сохраняя липидные мембраны и белки от окислительного повреждения, тем самым восстанавливая нестабильные виды радикалов кислорода, азота и серы в дополнении к регенерации других антиоксидантов в организме [4]. Источниками витамина С являются продукты как животного, так и растительного происхождения, одним из них является виноград [5].

Полифенолы являются продуктами вторичного метаболизма растительного происхождения, которые участвуют в обеспечении защиты от ультрафиолетового излучения и свободных радикалов [6]. Фенольные соединения представлены простыми фенолами, фенольными кислотами (гидроксикоричными и гидроксибензойными кислотами), флавоноидами, дубильными веществами и лигнином [7]. Защитное действие полифенолов на организм человека обусловлено их способностью оказывать положительное влияние на обмен веществ, хронические заболевания и иммунный статус, а также замедлять развитие и прогрессирование аутоиммунных заболеваний [8]. Фенольные соединения встречаются во всех органах растений. Так, основными компонентами мякоти винограда являются фенольные кислоты и флавоноиды [9].

Флавоноиды представляют класс вторичных метаболитов растительного происхождения с различной полифенольной структурой, и являются наиболее известными пигментами наряду с хлорофиллом и каротиноидами [10]. Флавоноиды в винограде – одни из самых мощных фитонутриентов, известные своим широким спектром биологической активности [12]. Данные фитохимические соединения способны проявлять антиоксидантное действие в клетках, посредством прямого взаимодействия с АФК и свободными радикалами путем регуляции активности ферментов, а также предупреждать образование АФК путем хелатирования переходных металлов, и действовать как регуляторы транскрипции РНК.

Дубильные вещества являются высокомолекулярными соединениями растительного происхождения полифенольной природы, обладающие дубящими свойствами, за счет образования прочных комплексов с белками и другими биополимерами в водных средах [13]. Они применяются в дублении кожи, в медицине в качестве вяжущих средств при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, а также в качестве противовоспалительных, антисептических, кровоостанавливающих и противоопухолевых лекарственных средств

[14]. Наибольшее количество полифенолов и, в частности, конденсированных дубильных веществ, флавонолов, фенольных кислот содержит кожица винограда [15].

Целью исследования стало установление антиоксидантной активности и количественное определение содержания таких полифенольных соединений, как флавоноиды и дубильные вещества в водной и спиртовой выжимках винограда культурного (*Vitis vinifera* L.) сорта «Молдова».

Для определения антиоксидантной активности выбран метод кулонометрического титрования электрогенерированным иодом при постоянной силе тока 50 мА в пересчете на аскорбиновую кислоту [16]. Количественное определение полифенольных соединений [17], дубильных веществ [18] проводили методом, основанном на спектрофотометрическом определении оптической плотности «сини», образовавшейся в ходе реакции окисления фитохимических соединений, содержащихся в спиртовом и водном экстрактах винограда, реактивом Фолина-Чокальтеу при длине волны 765 нм.

Массовую долю флавоноидов в процентах в пересчете на рутин [19] находили измерением оптической плотности раствора, образующегося при реакции водно-спиртового экстракта винограда с раствором раствора алюминия хлорида с массовой долей 2% в этиловом спирте с объемной долей 95% при длине волны 410 нм.

Результаты определения фитохимических компонентов в экстракте винограда представлены в таблице.

Таблица

Количественное содержание фитохимических компонентов в образце

Показатель	Экстрагент	Значение
Антиоксидантная активность в пересчете на аскорбиновую кислоту, мг/100 г	Вода дист.	68,0±9,0
Фенольные вещества в пересчете на галловую кислоту, мг/г	Спирт этиловый, 70%	2,642±0,006
Флавоноиды в пересчете на рутин, %	Спирт этиловый, 70%	0,0875±0,0007
Дубильные вещества в пересчете на пирогаллол, %	Вода дист.	1,9±0,4

Примечание: результат представлен в виде $M \pm \delta$, где M – среднее арифметическое, δ – стандартное отклонение; дист. вода – дистиллированная вода.

В результате эксперимента впервые получены данные о содержании полифенольных соединений и флавоноидов в плодах винограда «Молдова». Антиокислительная активность в водном извлечении составила 68,0±9,0 мг, что является относительно невысоким. Содержание дубильных веществ равно 1,9±0,4%, что превышает значения, приведенные в литературе (1,47%) [20], в 1,29 раза.

Таким образом, черный виноград сорта «Молдова» является источником полифенольных соединений и обладает антиоксидантной активностью. Содержание фитохимических компонентов позволяет использовать данный

сорт в качестве сырья для производства косметических средств, БАД и лекарственных препаратов.

Библиографический список

1. Еремина А. В. Фитохимическое изучение и стандартизация лекарственных средств и биологически активных добавок из продуктов переработки винограда культурного (*Vitis vinifera* L.) : автореф. дис. ... канд. фарм. наук: 15.00.02. М., 2005. 21 с.
2. Cosme F., Pinto T., Vilela A. Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Grape Juices: A Chemical and Sensory View // *Beverages*. 2018. Vol. 4(1). No. 22. P. 221–230. doi: 10.3390/beverages4010022
3. Vitamin C: One compound, several uses. Advances for delivery, efficiency and stability / A. Caritá, B. Fonseca-Santos, J. Shultz, B. Michniak-Kohn, M. Chorilli, G. Leonardi // *Nano-medicine*. 2020. doi: 10.1016/j.nano.2019.102117
4. Harrison F. E., Bowman G. L., Polidori M. C. Ascorbic acid and the brain: Rationale for the use against cognitive decline // *Nutrients*. 2014. Vol. 6. P. 1752–1781. doi: 10.3390/nu6041752
5. Сухомесова П. И. Содержание витамина С в винограде разных сортов // Молодёжь XXI века: шаг в будущее : материалы XXII региональной науч.-практ. конф. Благовещенск : Благовещенский государственный педагогический университет, 2021. С. 701–702.
6. Leifert W. R., Abeywardena M. Y. Cardioprotective actions of grape polyphenols // *Nutrition Research*. 2008. Vol. 28 (11). P. 729–737. doi: 10.1016/j.nutres.2008.08.007
7. Garrido J., Borges F. Wine and grape polyphenols – A chemical perspective // *Food Research International*. 2013. Vol. 54 (2). P. 1844–1858. doi: 10.1016/j.foodres.2011.08.010
8. Anthocyanins and Flavanones Are More Bioavailable than Previously Perceived: A Review of Recent Evidence / C. D. Kay, G. Pereira-Caro, I. A. Ludwig, M. N. Clifford, A. Crozier // *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 2017. Vol. 8. P. 155–180. doi: 10.1146/annurev-food-030216-025636
9. In vitro bioaccessibility and antioxidant activity of grape polyphenols / D. Tagliazucchi, E. Verzelloni, D. Bertolini, A. Conte // *Food Chemistry*. 2010. Vol. 120 (2). P. 599–606. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.10.030
10. Теплова В. В., Исакова Е. П., Кляйн О. И. Природные полифенолы: биологическая активность, фармакологический потенциал, пути метаболической инженерии (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2018. Т. 54. № 3. С. 215–235.
11. Азарова О. В. Флавоноиды: механизм противовоспалительного действия // *Химия растительного сырья*. 2012. № 4. С. 61–78.
12. Georgiev V., Ananga A., Tsoleva V. Recent Advances and Uses of Grape Flavonoids as Nutraceuticals // *Nutrients*. 2014. Vol. 6 (1). P. 391–415. doi: 10.3390/nu6010391
13. Das A. K., Islam M. N., Faruk M. O. Review on tannins: Extraction processes, applications, and possibilities // *South African Journal of Botany*. 2020. Vol. 135. P. 58–70. doi: 10.1016/j.sajb.2020.08.008
14. Иванов В. В. Количественное определение дубильных веществ в траве горца сахалинского, интродуцированного в условиях Кавказских минеральных вод, различными аналитическими методами // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 6. С. 1789.
15. Extraction of condensed tannins from grape pomace for use as wood adhesives / L. Ping, N. Brosse, L. Chrusciel, P. Navarrete, A. Pizzi // *Industrial Crops and Products*. 2011. V. 33 (1). P. 253–257. doi: 10.1016/j.indcrop.2010.10.007
16. Абдуллина С. Г., Агапова Н. М., Хазиев Р. Ш. Способ кулонометрического определения содержания аскорбиновой кислоты в растительном сырье и препаратах из

растительного сырья // Патент РФ 2464558, МПК G01N33/02, G01N27/44. Заявка: 2010137455/15, 08.09.2010. Дата публикации: 20.03.2012.

17. ГОСТ Р 55488-2013. ПРОПОЛИС. Метод определения полифенолов. Введ. 2015-01-01. М., 2014.

18. ОФС.1.5.3.0008.15. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах. Введ. 2016-01-01. 4 с.

19. ГОСТ 13399-89. Цветки Арники. Технические условия. Введ. 1990-05-01. М., 1995.

20. Ханикаев Д. Н. Химический состав ягод винограда разных сортов в условиях РСО-Алания // Известия Горского государственного аграрного университета. 2017. Т. 54. № 3. С. 165–169.

ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА

Г. А. Лучинин, М. В. Исупова, Е. В. Товстик

Вятский государственный университет, luchininegor@mail.ru

В статье представлены результаты исследования элементного и фитохимического состава плодов шиповника собачьего (*Rosa canina* L.), отобранных на территории г. Кирова. Приводятся данные по содержанию в плодах макро- и микроэлементов, полифенольных соединений, аскорбиновой кислоты, а также антиоксидантной активности водно-спиртовых извлечений из плодов.

Ключевые слова: шиповник собачий, плод, элементный состав, биологически активные вещества, полифенолы, флавоноиды, аскорбиновая кислота, антиоксидантная активность.

Перспективность использования лекарственных растений в медицинской практике принято оценивать по их химическому составу и фармакологическим свойствам [1]. Известно, что растения оказывают лечебное и общеукрепляющее действие на организм человека за счет наличия в их составе биологически активных веществ (БАВ), а также богатому набору минеральных комплексов [2].

Среди БАВ растительного происхождения наибольшее внимание исследователей заслуживают полифенолы [1, 2]. Их пользу для организма человека связывают с участием в гашении свободных радикалов и предотвращении повреждения клеток, что особенно значимо в снижении риска развития хронических заболеваний (рака, старческого слабоумия, артрита, сердечно-сосудистых заболеваний, катаракты и т. д.) [2]. В целом, для полифенолов, отмечается антиканцерогенное, противовоспалительное, антидиабетическое, а также антилипидемическое действие. Несмотря на широкую распространенность в натуральных продуктах питания, полифенолы отличаются низкой биодоступностью [3].

Важным представителем биологически активных веществ является витамин С или аскорбиновая кислота. Она принимает участие в биохимических

процессах, служит восстановителем в реакциях гидроксилирования в организме. Основная функция аскорбиновой кислоты заключается в образовании коллагена – белкового волокна, которое придает жесткость соединительной ткани. Значима роль аскорбиновой кислоты в метаболизме тирозина, холестерина, биосинтезе карнитина, кортикостероидов, усвоении железа [4]. Условия, при которых могут потребоваться большие дозы витамина С для человека – тиреотоксикоз, инфекции, физические травмы и хирургическое вмешательство [4].

Следует отметить, что сбалансированный рацион питания полностью обеспечивает организм человека природными антиоксидантами. При этом, чем разнообразнее ежедневный рацион, тем больше поступает в организм биодоступных антиоксидантов [5].

В современной научной медицине используется широкий спектр растений, обладающих тем или иным терапевтическим действием, определяемым входящими в их состав БАВ. К таким растениям относится шиповник.

Шиповник – это достаточно распространенное растение Кировской области. С точки зрения лечебно-профилактических средств шиповник интересен как поливитаминная культура. Также, согласно данным литературы, в плодах шиповника содержатся каротиноиды, дубильные вещества, флавоноиды, пектиновые вещества, различные сахара, макро- и микроэлементы, жирные масла, состоящие из моновенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, amino- и другие органические кислоты [6].

Цель работы – исследование химического состава плодов шиповника, отобранных на территории города Кирова.

Элементный состав плодов определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа. Определение суммарного содержания полифенолов в водно-спиртовых извлечениях из плодов проводили с опорой на [7] по методу Фолина-Чокальтеу с использованием одноименного реактива. В качестве внутреннего стандарта использовали галловую кислоту. Суммарное содержание флавоноидов определяли в водно-спиртовых извлечениях из плодов с опорой на [8]. В качестве внутреннего стандарта использовали рутин. Определение содержания аскорбиновой кислоты проводили электрохимическим методом на анализаторе «Эксперт-006». Определение антиоксидантной активности проводили титриметрическим методом в соответствии с методикой, изложенной в патенте [9]. В качестве внутреннего стандарта использовали кверцетин.

Известно, что элементный состав растений определяется условиями его произрастания. Кроме этого, важную роль в формировании элементного состава играет видовая принадлежность. В нашем случае наибольшую долю среди обнаруживаемых макроэлементов составляли калий и кальций, среди микроэлементов – кремний (рис.).

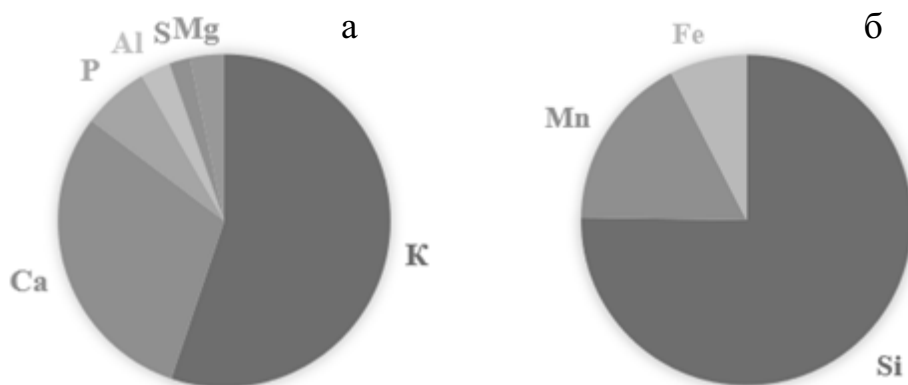


Рис. Процентное содержание макро- (а) и микроэлементов (б) в плодах шиповника

Согласно данным, полученным в ходе исследования водно-спиртовых извлечений из плодов, содержание полифенолов составило 118 мг/г, флавоноидов 0,13 масс.% (табл.)

Таблица

Содержание биологически активных веществ в плодах шиповника

Вещества	Содержание
Полифенолы, мг/г	118±7
Флавоноиды, масс.%	0,13
Аскорбиновая кислота, мг/г	45±5
Антиоксиданты, мг/г	112,00±0,10

Данные о содержании полифенолов и флавоноидов в плодах шиповника хорошо согласовались с данными, приведенными в литературе (107 мг/г и 0,3% соответственно) [3].

Сведения о содержании аскорбиновой кислоты в плодах шиповника приводятся во многих литературных источниках. Как правило, среднее значение варьирует от 2,2 до 5,5% [10]. В нашем случае содержание аскорбиновой кислоты в плодах шиповника составило 45 мг/г (или 4,5%).

Известно, что антиоксидантная активность исследуемого объекта определяется суммарным содержанием БАВ, обладающих восстанавливающей способностью. Таким образом, она складывается из суммы антиоксидантов, в том числе определяемых нами в работе соединений. Согласно данным, полученным в ходе анализа, антиоксидантная активность водно-спиртовых извлечений из плодов шиповника составила 112 мг/г.

Таким образом, в результате фитохимического анализа плодов шиповника собачьего, отобранного на территории Кировской области, установлен элементный состав, определено содержание полифенольных соединений и аскорбиновой кислоты, исследована антиоксидантная активность водно-спиртовых извлечений. По всем исследованным показателям плоды шиповника соответствуют норме, что определяет их перспективность в качестве сырья для фармацевтической промышленности.

Библиографический список

1. Ширко Т. С., Радюк А. Ф. Химический состав плодов видов *Rosa L.*, выращиваемых в Белоруссии // Растительные ресурсы. 1991. Т. 27. Вып. 2. С. 59–60.
2. Бобрышева Т. Н., Анисимов Г. С., Будкевич Р. О. Полифенолы как перспективные компоненты функциональных продуктов питания // Современные достижения биотехнологии. Глобальные вызовы и актуальные проблемы переработки и использования вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса России : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Ставрополь : «Бюро новостей», 2021. С. 38–42.
3. Ламан Н., Копылова Н. Шиповник – природный концентрат витаминов и антиоксидантов // Наука и инновации. 2017. Т. 176. № 10. С. 45–46.
4. Витамин С (аскорбиновая кислота) в питании [Электронный ресурс]. – URL: <http://cgon.rospotrebnadzor.ru/> (дата обращения: 29.10.2022).
5. Что такое антиоксиданты и зачем они нужны [Электронный ресурс]. – URL: <https://style.rbc.ru/health/> (дата обращения: 29.10.2022).
6. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. М. : Агрохимиздат, 1985. С. 18–20.
7. ГОСТ 55488-2013 Прополис. Метод определения полифенолов [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104875> (дата обращения: 29.10.2022).
8. ГОСТ 13399-89 Цветки арники. Технические условия [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022823> (дата обращения: 30.10.2022).
9. Патент Способ определения антиокислительной активности RU 2 170 930 C1. [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2170930C1_20010720 (дата обращения: 30.10.2022).
10. Магомедова З. М., Гасанова М. Г. Исследование фитохимического состава шиповника // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1: Естественные науки. 2016. № 2. С. 54–59.

ЯГОДЫ ЖИМОЛОСТИ КАК ИСТОЧНИК БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

*Д. В. Болдырев¹, Т. Д. Галкина¹, Е. Г. Ханжина¹,
С. Ю. Огородникова^{1,2}*

¹ Вятский государственный университет, boldyrev.daniil.2018@mail.ru

² Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук, svetao_05@mail.ru

В статье обобщена информация о содержании биологически активных веществ в ягодах жимолости. Особое внимание уделено количественному содержанию биологически активных веществ в зависимости от сорта. Рассмотрены способы консервации ягод жимолости.

Ключевые слова: жимолость съедобная, ягоды, фенольные соединения, антоцианы, витамин С, сорт.

Жимолость съедобная (*Lonicera edulis* Turcz. Ex Freyn) – кустарник, высотой до одного метра, произрастает преимущественно во влажных хвойных лесах, по опушкам, на торфяных болотах и влажных лугах, в горных районах на известняках. Светолюбивое, но при этом теневыносливое растение. Геогра-

фия распространения жимолости достаточно обширна: Центральная Европа, Восточная Сибирь, Дальний Восток, северная Корея, Северо-Восток Китая [1].

Листья эллиптические, продолговатые или ланцетовидные с заостренной верхушкой, длиной 1,5–5,5 см, шириной – 0,6–1,7 см. Цветет жимолость в мае – начале июня, плодоносит в конце июня – начале июля. Ягоды цилиндрические, реже округлые, 9–12 мм длиной [2].

Помимо раннего плодоношения, жимолость обладает высокой морозостойкостью: выдерживает температуру до -40°C , цветки выдерживают до -7°C [3, 4].

Жимолость устойчива в отношении вредителей, как насекомых, так и грибов. Прекрасно переносит легкую сухость. Газоустойчива, хорошо переносит городские условия.

Наиболее распространенными сортами жимолости являются: Морена, Голубое веретено, Успех, Тундра, Синяя птица, Бакчарский великан, Индиго Джем [5, 6].

Жимолость нашла широкое применение в народном хозяйстве. Кусты выращивают в качестве живой изгороди, сухие ветки используются в букетах. Благодаря своей раннеспелости ягоды жимолости незаменимы в средней полосе России в качестве пищевого продукта. Она позволяет раньше открыть сезон употребления свежих ягод, тем самым борясь с авитаминозом после продолжительного весенне-зимнего периода [7].

Широкое применение жимолость нашла в народной медицине, отвары из ее листьев используют при кашле и больном горле. Ягоды рекомендуют при болезнях желудочно-кишечного тракта, малокровии, болезнях сердца. Отваром из стеблей жимолости укрепляют волосы [8].

Перспективным направлением является применение жимолости как средства для лечения и профилактики ожирения и диабета 2 степени. Доказано, что жимолость является эффективным ингибитором ферментов, принимающих участие в реакциях расщепления жиров и углеводов [9]. При этом данный эффект слабо коррелирует с антиоксидантной активностью ягод.

Показана возможность применения экстрактов ягод жимолости в качестве стресс-протектора. По способности восстанавливать билипидный слой мембран эритроцитов, экстракты жимолости превосходят промышленный препарат, на основе экстрактов элеутерококка. Исследователи объясняют данный факт способностью полифенольных соединений инактивировать свободные радикалы и активные формы кислорода, которые запускают механизм перекисного окисления липидов, провоцируя окислительный стресс [10].

Под термином «фенольные соединения» обычно понимают класс природных ароматических и полиароматических соединений, синтезируемых растениями и некоторыми микроорганизмами [11]. Помимо борьбы с кислородным стрессом фенольные соединения выполняют функции защиты от действия УФ излучения у растений и кожных покровов человека [12]. Содержание фенольных соединений в ягодах жимолости зависит от сорта, наибольшими показателями обладают сорта: Берель, Галочка, Челябинка [13].

Основными классами фенольных соединений жимолости являются: флавонолы, флавоны, антоцианы и фенокислоты [14].

Основными флавонолами жимолости являются кверцетин и рутин, их содержание находится в пределах от 90 до 170 мг/100г ягод [8].

К флавонам в первую очередь относятся проантоцианиды и катехины, содержание катехинов от 358,3 до 738,0 г/100г ягод [15].

Антоцианы – окрашенные водорастворимые растительные пигменты, основными антоцианами жимолости являются цианидин-3-глюкозид и цианидин-3-рутинозид. Содержание в ягодах цианидин-3-глюкозида 12,5–87,5 мг/г пересчете на сухое вещество [3].

В жимолости основное количество антоцианов содержится в кожуре. К сожалению, до настоящего времени растительные антоцианы не нашли масштабного применения в пищевой промышленности, им предпочитают искусственные красящие вещества [16]. Показано, что пигменты жимолости обладают хорошей устойчивостью и являются перспективными для пищевой промышленности [17]. Устойчивость антоцианов *in vitro* связана с множеством факторов: уровнем освещения, pH среды, температурой, концентрацией, наличием комплексообразователей и прочее. Известно, что при pH 4–6 образуются хиноидные основания и пигмент становится бесцветным. Наиболее стабилен он при pH 1–2, и интенсивность цвета максимальная, так как цианидин находится в форме флаванала. При промежуточном значении pH = 3 окраска значительно ослабевает [17].

Содержание антоцианов зависит от температуры, высокие температуры вызывают более быстрое созревание плодов [18].

Еще одним важным классом фенольных соединений являются фенокислоты, в первую очередь хлоргенная и феруловая, их содержание в плодах составляет 120,5–166,0 мг/кг и 36,9 мг/кг соответственно [17].

Высокие антиоксидантные свойства жимолости обеспечивают не только полифенольные соединения, но и витамин С. Ягоды жимолости содержат до 150 мг% аскорбиновой кислоты [19].

Аскорбиновая кислота участвует в важнейших биохимических процессах: иммуномодулировании, превращении холестерина в желчные кислоты, синтезе триптофана и серотонина [20]. Наибольшим содержанием аскорбиновой кислоты характеризуются сорта жимолости: Юмис, Ассоль, Золушка, Голубое веретено [21].

На содержание витамина С в жимолости существенно влияют условия выращивания, такие как температура и влажность, особенно в период созревания. Исследователями показано, что в год, характеризующийся большей влажностью и меньшей средней температурой конца мая – начала июня, содержание витамина С на 7–26% ниже, чем в более теплое и менее дождливый период созревания [22].

Все это делает ягоды жимолости очень перспективными источниками биологически активных веществ. К сожалению, употреблять свежие ягоды мы

можем только в небольшой период времени, значит, еще одной актуальной проблемой является сохранность веществ, при консервации и переработке.

Самыми распространенными способами консервации ягод являются замораживание и сушка. Известно, что замораживание является более эффективным способом консервации. При замораживании в течение двух лет количество аскорбиновой кислоты практически не уменьшается [23]. Также отмечено, что в процессе сушки происходит потеря аскорбиновой кислоты до 45% в зависимости от сорта.

Таким образом, в результате проведенного анализа данных литературы показано, что ягоды жимолости являются ценным источником большого количества биологически активных веществ. Особенно велико содержание в плодах жимолости веществ с антиоксидантной активностью – фенольных соединений, антоцианов и витамина С. Содержание БАВ, главным образом, зависит от сорта жимолости, однако существенное влияние оказывают и условия выращивания. Наиболее эффективным способом консервации ягод жимолости, позволяющим сохранить ценные свойства ягод, является замораживание.

Библиографический список

1. Белосохов Ф. Г., Кирина И. Б., Титова Л. В. Характеристика перспективных сортов жимолости и оценка их пригодности к хранению // Инновационные подходы к разработке технологий производства, хранения и переработки продукции растениеводческого кластера : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Мичуринск : Мичуринский государственный аграрный университет, 2020. С. 39–43.
2. Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции / под ред. С. Я. Соколова. М. : Изд-во АН СССР, 1954. 872 с.
3. Bioactive Compounds, Antioxidant, and Antibacterial Properties of *Lonicera caerulea* Berries: Evaluation of 11 Cultivars / L. Cesoniene, J. Labokas, I. Jasutiene, A. Sarkinas, V. Kaskoniene, P. Kaskonas, R. Kazernaviciute, A. Pazereckaite, R. Daubaras // Plants (Basel). 2021. No. 10. P. 624. doi: 10.3390/plants10040624
4. Васильева Н. А. Оценка перспективных форм жимолости в условиях Западного Забайкалья // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2020. № 1(58). С. 19–24. doi 10.34655/bgsha.2020.58.1.003
5. Plekhanova M. N. Blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) –A new commercial berry crop for temperate climate: Genetic resources and breeding // Acta Horticulturae. 2000. No. 538. P. 159–164. doi: 10.17660/ActaHortic.2000.538.25
6. Показатели плодов сортов жимолости в Республике Марий Эл / А. С. Зиновьева, С. В. Мухаметова, В. П. Головунин // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 5–3. С. 6–8. doi: 10.24411/2500-1000-2019-10955
7. Short Communication: Haskap (*Lonicera caerulea*): A new berry crop with high antioxidant capacity / Н. Р. Vasantha Rupasinghe, L. J. Yu, B. Khushwant, B. Bors // Canadian Journal of Plant Science. 2012. Vol. 92. P. 1311–1317. doi: 10.4141/cjps2012-073
8. Степанова Н. Н. Жимолость как высокоценный компонент питания населения Амурской области // Космодром «Восточный» – будущее космической отрасли России : материалы II всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск : Благовещенский государственный педагогический университет, 2013. С. 105–110.
9. In Vitro Inhibitory Effect on Digestive Enzymes and Antioxidant Potential of Commonly Consumed Fruits / A. Podśędek, I. Majewska, M. Redzynia, D. Sosnowska,

M. Koziolkiewicz // J. Agric. Food Chem. 2014. Vol. 62. No. 20. P. 4610–4617 doi: 10.1021/jf5008264

10. Момот Т. В. Профилактика стрессовых нарушений физиолого-биохимических характеристик эритроцитов полифенольным комплексом из жимолости // Здоровье. Медицинская экология. 2014. № 2 (56). С. 41–44.

11. Зверев Я. Ф. Флавоноиды глазами фармаколога. Особенности и проблемы фармакокинетики //Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2017. Т. 15, № 2. С. 4–11.

12. Svobodova A., Zdarilova A., Vostalova J. *Lonicera caerulea* and *Vaccinium myrtillus* fruit polyphenols protect HaCaT keratinocytes against UVB-induced phototoxic stress and DNA damage // Journal of dermatological science. 2009. Vol. 56. No. 3. P. 196–204. doi: 10.1016/j.jdermsci.2009.08.004

13. Сравнительная оценка качества плодов смородины и жимолости / И. Б. Кирина, Ф. Г. Белосохов, Л. В. Титова, В. С. Вдовина // Приоритетные направления развития садоводства (I Потаповские чтения) : материалы Национальной науч.-практ. конф., посвященной 85-й годовщине со дня рождения профессора, доктора сельскохозяйственных наук, лауреата Государственной премии Потапова Виктора Александровича. Мичуринск : Мичуринский ГАУ, 2019. С. 173–176.

14. Polyphenols: food sources and bioavailability / M. Claudine, A. Scalbert, C. Morand, C. Remesy, L. V. Jimenez // The American journal of clinical nutrition. 2004. 79. No. 5. P. 47.

15. Содержание биологически активных соединений в плодах калины и жимолости, произрастающих в Красноярском крае / О. М. Евтухова, Н. Ю. Теплюк, В. М. Леонтьев, Г. В. Иванова // Химия растительного сырья. 2000. №1. С. 77–79.

16. Исследование антиоксидантных свойств жимолости / Н. В. Макарова, Э. В. Мусифулина, А. Н. Дмитриева, Г. И. Соболев, О. И. Азаров // Пищевая промышленность. 2012. № 12. С. 56–58.

17. Phenolic profile of edible honeysuckle berries (genus, *Lonicera*) and their biological effects / T. Jurikova, O. Rop, J. Mlcek, J. Sochor, S. Balla, L. Szekeres, A. Hegedusova, J. Hubalek, V. Adam, R. Kizek // Molecules. 2011. Vol. 17. No. 1. P. 61–79. doi: 10.3390/molecules17010061

18. Wang S. Y, Zheng W. Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry // J. Agric Food Chem. 2001. Vol. 49. No. 10 P. 4977–4982. doi: 10.1021/jf0106244

19. Якимлюк Т. А., Котов Л. А. Применение жимолости в различных отраслях народного хозяйства // Молодежь и наука. 2018. № 4. С. 51–54.

20. Harrison F. E, May J. M. Vitamin C function in the brain: vital role of the ascorbate transporter SVCT2 // Free Radic Biol. Med. 2009. Vol. 46. No. 6. P. 719–730. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2008.12.018

21. Андреева Т. Е., Бородулина И. Д. Витамин С и сахарокислотный индекс ягод жимолости алтайской селекции // Пища. Экология. Качество : труды XVII Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2020. С. 54–56.

22. Влияние погодных условий на биохимические показатели ягод жимолости / М. С. Лезин, Л. В. Уфимцева, Н. В. Глаз, В. А. Лезина // Субтропическое и декоративное садоводство. 2018. № 64. С. 154–159.

23. Богатырёв А. Н., Степанова Н. Ю. Технологическая оценка разных сортов жимолости для замораживания и сушки // Пищевая промышленность. 2016. № 3. С. 44–47.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛОДОВ И ЛИСТЬЕВ АРОНИИ ЧЕРНОПЛОДНОЙ

И. Р. Гребенев, М. В. Исупова, Е. А. Лучинин

Вятский государственный университет,

stud115471@vyatsu.ru, stud115454@vyatsu.ru, stud115462@vyatsu.ru

В статье представлена сравнительная оценка плодов и листьев аронии черноплодной по содержанию макро- и микроэлементов, полифенольных соединений, аскорбиновой кислоты, антиоксидантной активности. По большинству исследованных показателей листья не уступают плодам аронии черноплодной.

Ключевые слова: арония черноплодная, плод, лист, элементный состав, макроэлементы, микроэлементы, биологически активные вещества, полифенолы, флавоноиды, аскорбиновая кислота, антиоксидантная активность.

Рябина черноплодная – растение семейства розоцветные (Rosaceae), интродуцированное во всех эколого-географических районах России. Плоды аронии обладают широким спектром фармакологической активности, сочетающей в себе антиоксидантное, бактерицидное и солнцезащитное действие [1].

Рябина черноплодная или арония черноплодная (*Aronia melanocarpa* Elliot) известна как ценная плодовая культура. Ее плоды используют для лечения и профилактики многих заболеваний, что связано с содержанием в них комплекса биологически активных веществ (БАВ), основными из которых являются витамины и витамин подобные соединения, в частности флавоноиды. Так же плоды аронии черноплодной применяются в производстве варенья, джемов, соков, мармелада, ликеров, настоек. Сушеные плоды используются для приготовления фруктового чая. Вытяжка из плодов используется как краситель в кондитерской промышленности [2].

В составе плодов рябины черноплодной содержится от 16 до 18% сахаров, пектина – 0,3–0,6%. В зрелых плодах рябины преобладают глюкоза и фруктоза (около 96% от суммы сахаров), в незначительном количестве содержится сахароза – 0,3% [3]. В плодах в небольшом количестве содержатся витамины группы В и РР [4].

По содержанию веществ, обладающих Р-витаминной активностью (катехамин, антоцианы, флавонолы) рябина черноплодная не имеет себе равных среди ягодных и плодовых культур. Их сумма составляет 2900 мг/100 г [5]. Лечебные свойства плодов аронии черноплодной сохраняются даже при их переработке. В несброженном соке содержание витамина Р около 0,5%, а в высушенном жоме плодов – до 20% [6].

Не менее чем плоды, ценны листья рябины черноплодной. По данным литературы в их состав также входят БАВ. Однако в народной медицине они используются реже.

Цель работы – исследование химического состава плодов и листьев рябины черноплодной.

Зрелые плоды и листья *Aronia melanocarpa* отбирали в сентябре 2021 года на территории г. Кирова. После промывания водой плоды высушивали в сушильном шкафу при температуре 60°C, листья – при комнатной температуре в тени. После сушки плоды и листья измельчали в лабораторной мельнице, пропускали через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Определение БАВ проводили в водно-спиртовых извлечениях из плодов и листьев аронии. Экстрагирование осуществляли 70%-ым этиловым спиртом. Определение суммарного содержания полифенолов проводили по методу Фолина-Чокальтеу с использованием одноименного реактива, стандартом являлась галловая кислота [7]. Флавоноиды определяли согласно [8], в качестве стандарта использовали рутин. Определение содержания аскорбиновой кислоты проводили кулонометрическим методом на приборе «Эксперт-006». Определение микроэлементов проводили методом атомно-адсорбционной спектроскопии [9]. Элементный состав (макроэлементы) плодов и листьев устанавливали методом рентгенофлуоресцентного анализа [10]. Антиоксидантную активность определяли титриметрическим методом в соответствии с методикой [11], внутренним стандартом определения являлся кверцетин.

По результатам проведенных исследований установлено, что содержание полифенолов в листьях и плодах рябины черноплодной составляет 116 и 56 мг/г соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Содержание биологически активных веществ в рябине черноплодной

Показатель	Листья	Плоды
Полифенолы, мг/г	116,34±2,15	55,91±0,29
Флавоноиды, масс. %	0,67±0,04	0,23±0,03
Аскорбиновая кислота, мг/г	2,9±0,3	16,2±1,6
Антиоксидантная активность, мг/г	39,90±0,22	47,89±0,24

В ходе анализа было выявлено, что содержание флавоноидов в листьях практически в 3 раза больше, чем в плодах. Содержание аскорбиновой кислоты в плодах и антиоксидантной активности водно-спиртовых извлечений из них было выше, чем в листьях.

Исходя из данных, полученных в ходе анализа элементного состава, установлено, что в листьях содержится макроэлементов больше, чем в плодах (табл. 2).

Таблица 2

Элементный состав рябины черноплодной

Элемент	Листья	Плоды
Макроэлементы в пересчете на оксиды, %		
K	11,4	62,7
Ca	66,1	17,2
P	10,6	8,8
S	1,2	2,7
Mg	7,3	2,6
Микроэлементы, мг/кг		
Fe	64,4±3,2	33,8±1,7
Mn	158,4±7,9	17,2±0,9
Cu	4,3±0,2	3,5±0,2
Zn	53±3,2	6,6±0,3

Исключение составили калий и сера.

Микроэлементов, а именно железа, марганца, меди и цинка содержится больше в листьях, чем в плодах.

Таким образом, в ходе фитохимического анализа плодов и листьев аронии черноплодной были получены данные о содержании полифенолов, флавоноидов, аскорбиновой кислоты, макро- и микроэлементов, антиоксидантной активности водно-спиртовых извлечений. Доказано наличие в листьях рябины черноплодной БАВ (полифенолов и флавоноидов) и микроэлементов в количестве равном или большем, чем в ее плодах. Листья рябины черноплодной можно считать потенциальным источником БАВ, а также макро- и микроэлементов.

Библиографический список

1. Выбор оптимальных условий извлечения антоциановых соединений листьев рябины черноплодной / Е. Е. Логвинова, Т. А. Брежнева, А. И. Сливкин, Е. И. Недолужко // Вестник ВГУ. 2016. № 4. С. 142–146.
2. Kulling S. E., Rawel H. M. Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) a review on the characteristic components and potential health effects // Planta Med. 2008. Vol. 74(13). P. 1625–1634. doi: 10.1055/s-0028-1088306
3. Razungles A., Oszmianski J., Sapis J. C. Determination of carotenoids in fruits of *Rosa* sp. (*Rosacandina* and *Rosarugosa*) and of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) // J. Food Sci. 1989. Vol. 54. P. 774–775.
4. Арония черноплодная: биологическая активность и перспективы использования в медицине / И. В. Сафронова, В. А. Козлов, И. А. Гольдина, К. В. Гайдуль // Инновации и продовольственная безопасность. 2014. № 3(5). С. 32–43. doi: 10.31677/2311-0651-2014-0-3-32-43
5. Combination therapy of statin with flavonoids-rich extract from chokeberry fruits enhanced reduction in cardiovascular risk markers in patients after myocardial infarction (MI) / M. Naruszewicz, I. Laniewska, B. Mollo, M. Dłuzniewski // Atherosclerosis. 2007. Vol. 192(2): P. 179–184. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2006.12.032
6. Блажей А., Шутый Л. Фенольные соединения растительного происхождения М. : «Мир», 1997. 239 с.
7. ГОСТ Р 55488-2013. Метод определения полифенолов [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104875> (дата обращения: 26.10.2021).

8. ГОСТ 13399–89. Цветки арники [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022823> (дата обращения: 13.11.2021).

9. ГОСТ 30178–96. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021152> (дата обращения: 31.11.2021).

10. ГОСТ 28033-89. Метод рентгенофлюоресцентного анализа [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200009136> (дата обращения: 4.06.2022).

11. RU2117944C1. Способ определения антиокислительной активности в условиях динамического диспергирования [Электронный ресурс]. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2117944C1_19980820 (дата обращения: 28.04.2022).

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА СОДЕРЖАНИЕ ДУБИЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ХВОЕ И КОРЕ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ (*ABIES SIBIRICA* LEDEB.)

В. Л. Тарасова, Л. В. Хохрякова, Т. А. Адамович

*Вятский государственный университет,
kiratarasova1725@gmail.com, ludmilahohrakova017@gmail.com*

В статье представлены результаты изучения содержания дубильных веществ в коре и хвое пихты сибирской, которое определяли титриметрическим методом. Установлено, что содержание дубильных веществ в коре выше в 1,2–4 раза по сравнению с хвоей.

Ключевые слова: дубильные вещества, хвоя, кора, пихта сибирская, титриметрический метод, экологическая обстановка.

В настоящее время биологически активные вещества растительного происхождения приобретают определенный статус в фармацевтике [1]. Лекарственное растительное сырье, в котором содержатся дубильные вещества, применяют для получения препаратов, используемых как кровоостанавливающее, вяжущее, противовоспалительное средство, а также в качестве антиоксидантов [2, 3]. Пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) может быть рассмотрена в качестве источника извлечения дубильных веществ в Кировской области.

На компонентный состав хвои и коры оказывают значительное влияние различные эколого-географические и климатические условия, а также некоторые факторы биологического характера [4–6]. Цель работы – оценить влияние экологической обстановки на содержание дубильных веществ в хвое и коре пихты сибирской в двух районах Кировской области.

Объекты исследования – хвоя и кора *Abies sibirica*. Сырьё было отобрано из двух районов Кировской области: Куменского (с. Вожгалы) и Кирово-Чепецкого (г. Кирово-Чепецк). Хвою и кору высушивали при температуре 50°C. Для проведения эксперимента сухое сырьё измельчали, затем просеяли через сито диаметром 2 мм. Экстрагирование проводили дистиллированной водой на электрической плитке с закрытой спиралью в течение 30 минут.

Для количественного определения содержания дубильных веществ использовали метод объемного перманганатометрического титрования по принятой методике [7]. Он основан на легкой окисляемости дубильных веществ калия перманганатом в кислой среде в присутствии индикатора и катализатора индигосульфокислоты, которая в точке эквивалентности раствора меняет окраску от синего до золотисто-желтого. Исследование проведено в лабораториях Института химии и экологии Вятского государственного университета.

Результаты количественного определения дубильных веществ в коре и хвое пихты сибирской представлены в таблице.

Таблица

**Результаты количественного определения дубильных веществ
в коре и хвое пихты сибирской**

Объект исследования		Влажность, %	Содержание дубильных веществ в пересчете на танин, %
Образец	Место сбора сырья		
Кора	Кирово-Чепецкий р-н (г. Кирово-Чепецк)	64,1	4,7±1,1
	Куменский р-н (с. Вожгалы)	85,2	15,6±1,7
Хвоя	Кирово-Чепецкий р-н (г. Кирово-Чепецк)	43,7	3,8±0,5
	Куменский р-н (с. Вожгалы)	39,3	3,88±0,39

Из данных таблицы видно, что независимо от экологической обстановки, содержание дубильных веществ в коре превышает их содержание в хвое пихты сибирской. Содержание дубильных веществ в коре варьировало в интервале 4,7–15,6%, тогда как в хвое отмечалось примерно на одном уровне (3,8%).

По результатам эксперимента, в промышленном городе Кирово-Чепецк хвоя и кора *Abies sibirica* содержат меньшее количество дубильных веществ, относительно их содержания у особей, произрастающих в с. Вожгалы Куменского района, где нет предприятий химической промышленности, и воздействие выхлопных газов автомобилей минимально. Так, в коре пихты сибирской, встречающейся в с. Вожгалы, содержание дубильных веществ в 3,3 раза выше по сравнению с их содержанием в коре растений из г. Кирово-Чепецка.

Таким образом, полученные результаты эксперимента подтверждают гипотезу о влиянии экологической обстановки на количественное содержание дубильных веществ в коре и хвое пихты сибирской.

Библиографический список

1. Буркова Е. А., Канарская З. А., Канарский А. В. Перспектива применения фито-биотехнологии для получения биологически активных веществ // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 14. С. 352–356.
2. Адзинова Л. А., Руденок Ю. А. Фармакогностический анализ лекарственного растительного сырья, содержащего дубильные вещества бадана толстолистного (*Bergenia crassifolia*), скумпии кожевенной (*Rhus cotinus*) и зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum*) // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2016. Т. 6, № 5. С. 912.

3. Активные формы кислорода и антиоксиданты в живых системах: интегрирующий обзор / Т. К. Головки, Е. В. Силина, Е. А. Лашманова, А. В. Козловская // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 17–26. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-017-026
4. Буркова В. Н., Иванов А. А., Сергун В. П. Химический состав и фармакологическая активность водного экстракта пихты сибирской (*Abies sibirica* L.) // Химия растительного сырья. 2022. № 2. С. 19–34.
5. Михайлова Т. А., Шергина О. В. Биогеохимическая миграция элементов-загрязнителей в урбоэкосистеме // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 27–32. doi: 10.25750/1995-4301-2010-3-027-032
6. Евдокимова Г. А. Почвенная микробиота как фактор устойчивости почв к загрязнению // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 2. С. 17–24. doi: 10.25750/1995-4301-2014-2-017-024
7. Государственная фармакопея СССР: в 2-х вып. 11-е изд. М. : Медицина, 1990. 399 с.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В МЕЛИССЕ ЛЕКАРСТВЕННОЙ

Е. А. Кислицына, А. И. Фокина

Вятский государственный университет, elenakislicyna83863@gmail.com

В работе представлены результаты изучения влияния условий выращивания мелиссы лекарственной (состав грунта для выращивания, удобрение УНИВЕРСАЛ, присутствие фитопатогенного микромицета *Fusarium culmorum*) на содержание в растениях фенольных соединений, флавоноидов и антиоксидантов.

Ключевые слова: мелисса лекарственная, антиоксиданты, флавоноиды, фенольные соединения, торф, грунт.

В настоящее время фитотерапия (использование лекарственных препаратов на основе растительного сырья) получила широкое распространение. Обосновано это тем, что влияние на организм природных компонентов, содержащихся в лекарственных растениях, признано более безопасным, чем синтетических [1].

Одним из перспективных источников седативных, антидепрессантных, антиоксидантных средств является мелисса лекарственная [2]. Мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.) – многолетнее, травянистое, теплолюбивое растение, официально признанное лечебным во многих странах [3, 4]. Мелиссу, как и большинство лекарственных растений, используют в народной медицине в виде настоя, отвара, чая. Она обладает спазмолитическим, болеутоляющим, успокаивающим, гипотензивным, мочегонным действием, а также противовирусной активностью в отношении гриппа, герпеса. Данное растение широко применяется в медицине, парфюмерии, косметологии и пищевой промышленности [4]. Распространенность мелиссы, как основы множества

лекарственных препаратов, обусловлена входящими в состав химическими соединениями. В надземной части Melissa содержится эфирное масло, которое дает растению приятный аромат и используется в изготовлении дорогих духов. В его состав входит цитраль, цитронеллаль, гераниол, цитронеллол, кариофиллен [5].

К качеству растительного сырья Melissa, по литературным данным, можно отнести: содержание розмариновой кислоты (не менее 1%); экстрактивных веществ, извлекаемых 24% спиртом, не менее 22%; золы не более 12% (нерастворимой в кислоте хлористоводородной не более 3%); примесей в виде стеблей не более 50%, органической – не более 2%, минеральной – не более 1%. Сумма флавоноидов 2,1%, танидов, определенных спектрофотометрическим методом, 4,5% [6].

Содержание компонентов в листьях зависит от следующих факторов: возраста растения, момента отбора пробы (до цветения или после), климатических условий произрастания, а также химического состава грунта [5]. Однако, слабо изучен вопрос влияния на содержание в Melissa биологически активных веществ таких важных факторов: различных доз минеральных удобрений в субстрате для выращивания, присутствия микроорганизмов и т. п. [7].

Поэтому цель работы – изучить влияние некоторых факторов (удобрения УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+МЭ, присутствия фитопатогенного микромицета *Fusarium culmorum*) на содержание антиоксидантов, фенольных соединений и флавоноидов в листьях Melissa лекарственной.

В течение двух месяцев выращивали Melissa лекарственную сорта «Лимонный аромат» на дерново-подзолистой почве (рН = 7,1, содержание K_2O – 9 мг/100 г, P_2O_5 – 141±28 мг/кг) и торфосмеси (торфогрунт марки «Питательный универсальный», ООО «Фабрика грунтов», г. Екатеринбург, рН = 5,9, содержание K_2O > 18 мг/100 г, P_2O_5 – 654±131 мг/кг) при температуре 18±2 °С под фитолампой, соблюдая режим смены дня и ночи (12 час./12 час.). В качестве контроля использовали субстраты без добавок. Вариантами эксперимента служили субстраты с добавлением удобрения УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+МЭ и микромицета *Fusarium culmorum* (коллекция кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятского государственного агротехнологического университета). Повторность эксперимента трехкратная.

Использовали спектрофотометрический метод определения фенольных соединений, основанный на определении оптической плотности образующейся «сини» с реактивом Фолина-Чокальтеу [8]; спектрофотометрический метод определения флавоноидов, основанный на определении оптической плотности образующегося комплекса [9]; метод перманганатометрии для определения антиоксидантов, основанный на реакции окисления веществ антиоксидантов перманганатом калия [10].

Установлено влияние добавок в грунт на содержание биологически-активных веществ в Melissa лекарственной: добавка удобрения в дерново-

подзолистую почву и торфосмесь положительно повлияла на накопление флавоноидов: дерново-подзолистая почва: контроль – $3,3 \pm 0,4$ (%), с удобрением – $4,53 \pm 0,05$ (%); торфогрунт: контроль – $0,73 \pm 0,08$ (%), с удобрением – $1,29 \pm 0,10$ (%). На количество фенольных соединений добавление удобрения не влияет при выращивании Melissa на дерново-подзолистой почве: контроль – $10,9 \pm 0,1$ (мг/г), удобрение – $10,9 \pm 1,2$ (мг/г), оказывает снижающий эффект при выращивании на торфосмеси: контроль – $5,4 \pm 0,4$ (мг/г), удобрение – $3,6 \pm 0,5$ (мг/г). Присутствие микромицета *Fusarium culmorum* вызывает снижение содержания фенольных соединений в растениях, выращенных на обоих субстратах: дерново-подзолистая почва – $7,7 \pm 0,4$ (мг/г); торфосмесь – $4,9 \pm 0,1$ (мг/г).

Таким образом, в Melissa, выращенной на дерново-подзолистой почве, содержание фенольных соединений, в том числе флавоноидов, больше, чем в растениях, выращенных на торфосмеси. Вероятно, различия в накоплении фенольных соединений в листьях Melissa обусловлены составом грунта. В составе торфосмеси высокое содержание органических веществ, умеренное – азота; торф не содержит семена сорняков и возбудителей болезней растений. Однако, торф имеет высокую поглощательную способность и влагоемкость. Поверхность торфосмеси сохнет быстро, но влаги внутри на самом деле много. Торф как губка впитывает ее. Начинают образовываться закисные соединения, оказывающие негативное влияние на развитие растения. Кроме того, переизбыток влаги отрицательно влияет на корни. На стрессовое влияние может реагировать антиоксидантная система Melissa. Так в эксперименте установлено, что суммарное количество антиоксидантов в растениях, выращенных на торфосмеси выше, чем у растений, выращенных на дерново-подзолистой почве: дерново-подзолистая почва: контроль – $20,60 \pm 0,01$ (мг/г), с удобрением – $17,29 \pm 0,01$ (мг/г), *F. culmorum* – $15,71 \pm 0,03$ (мг/г); торфосмесь: контроль – $62,9 \pm 3,7$ (мг/г), с удобрением – $77,0 \pm 5,6$ (мг/г), *Fusarium culmorum* – $74,6 \pm 1,0$ (мг/г). Достаточно высокое содержание антиоксидантов в образцах Melissa по сравнению с фенольными соединениями обусловлено тем, что в растении присутствуют не только фенольные антиоксиданты, например, витамин С.

В качестве вывода следует отметить, что актуален вопрос поиска оптимального состава торфосмеси, позволяющего снижать негативные для растений свойства торфа.

Библиографический список

1. Гребенникова О. А., Палий А. Е., Логвиненко Л. А. Биологически активные вещества Melissa лекарственной // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского: «Биология, химия». 2013. № 3. С. 43–45.
2. Икроми М. Б., Тураева Г. Н. Компонентный состав фенольных соединений семейства Яснотковых // Вестник Технологического университета Таджикистана. 2019. Т. 1. № 36. С. 25–30.

3. Пояркова Н. М., Сапарклычева С. Е., Чулкова В. В. Биологические и лекарственные особенности Melissa лекарственной (*Melissa officinalis* L.) // Аграрное образование и наука. 2020. Т. 1. С. 1–6.
4. Гребенникова О. А., Палий А. Е., Логвиненко Л. А. Биологически активные вещества Melissa лекарственной // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». 2013. Т. 26. № 1. С. 43–50.
5. Алексеева А. В. Травы Melissa лекарственной – перспективный источник импортозамещающих нейротропных препаратов // Фармация. 2011. № 1. С. 7–10.
6. ОФС.1.1.0005.15 Отбор проб лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов.
7. Определение показателей окислительного стресса в Melissa лекарственной при действии микромицета *Fusarium culmorum* и его антагонистов / А. И. Фокина, С. Г. Скугорева, Л. В. Трефилова, Л. В. Даровских // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 77–83. doi: 10.25750/1995-4301-2022-2-077-083
8. ГОСТ Р 55488-2013. Метод определения полифенолов [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104875> (дата обращения: 26.10.2021).
9. ГОСТ 13399-89 Цветы арники. Технические условия. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022823> (дата обращения: 21.10.2022).
10. Способ определения антиокислительной активности / Т. В. Максимова, И. Н. Никулина, В. П. Пахомов, Е. И. Шкарина, З. В. Чумакова, А. П. Арзамасцев. Патент № 2000111126/14. Дата публикации: 20.07.2001.

ГИСТОСТРУКТУРНЫЕ РИЗОЛОГИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ФИТОИНДИКАТОРОВ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ДОНБАССА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

А. В. Турчанинова

Донецкий национальный университет, turchaninova2000@mail.ru

Выделены качественные гистоструктурные преобразования в ризологической сфере у фитоиндикаторов, имеющих диагностическое значение при проведении экологического мониторинга в Донбассе. Эксперимент реализован при однофакторном анализе в лабораторных условиях и при полифакторном анализе в открытой ландшафтной системе. Установлены наиболее типичные реакции растений-индикаторов на разные загрязнители.

Ключевые слова: фитотестирование почв, фитоиндикация, экологический мониторинг, Донбасс.

Видоспецифичность в реакциях на факторы техногенной нагрузки лежит в основе проведения качественного биоиндикационного мониторинга по установлению уровней воздействия на локальные природные экосистемы с помощью разных таксономических групп [1], при фитотестировании урбано-зёмов [2, 3] и проведении фундаментальных физиолого-биохимических исследований [4]. Цель работы – установить гистоструктурную разницу в реакции фитоиндикаторов на действие факторов специфического и неспецифиче-

ского стресса, индуцированного антропогенным воздействием на природные системы в Донбассе.

На основании действующих разработок в Донецком национальном университете [5–7], обусловленных необходимостью оптимизации техногенно нарушенных территорий [8], интересом в актуальных научных публикациях [9] и накопленным опытом, проведены исследования с проростками при фитотестировании почвенных растворов в контролируемом модельном и открытом ландшафтном экспериментах [10, 11].

В качестве тест-объектов использовали виды природной флоры, семенной материал которых собран в 2022 г. на учетной площадке условного контроля в буферной части особо охраняемой природной территории «Донецкий Кряж»: *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Sisymbrium polymorphum* (Murray) Roth, *Berteroa incana* (L.) DC. и *Polygonum aviculare* L. Указанные виды характеризуются широкой экологической амплитудой и анатомо-морфологической пластичностью, часто встречаются на всей территории мониторинговой сети Центрального Донбасса, адаптированы для лабораторного эксперимента ризологического характера в моделируемых условиях моно- и полифакторного опыта.

В работе использовали следующие показатели: 1) асимметричность корневого чехлика (АКЧ); 2) степень нарушения дерматокалитрогена (НД); 3) патология в строении эпиблемы (СЭ); 4) степень нарушения в строении периблемы (СП); 5) атипичное строение плеромы (АСП); 6) нарушения в строении центрального цилиндра (НЦЦ). Все указанные признаки были оценены по 5-балльной шкале вариации, где высший коэффициент в градации соответствует большему уровню трансформации ткани под воздействием факторов загрязнения. Опыт проведен на 2–3 недельных проростках указанных видов. Рабочая задача заключалась в установлении видоспецифической разницы в реакции на факторы загрязнения в сочетанном и единичном воздействии.

Результаты гистологического эксперимента в монофакторном опыте при содержании Cu (2 ПДК для почвенного раствора): *Capsella bursa-pastoris* – АКЧ (3), НД (4), СЭ (3), СП (4), АСП (4), НЦЦ (4); *Diplotaxis muralis* и *Sisymbrium polymorphum* – АКЧ (1), НД (1), СЭ (2), СП (2), АСП (1), НЦЦ (1), НЦЦ (1); *Berteroa incana* и *Polygonum aviculare* – АКЧ (2), НД (1), СЭ (2), СП (1), АСП (2), НЦЦ (1).

Cu (3 ПДК): *Capsella bursa-pastoris* – АКЧ (5), НД (5), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (5); *Sisymbrium polymorphum* и *Diplotaxis muralis* – АКЧ (1), НД (1), СЭ (2), СП (1), АСП (1), НЦЦ (1); *Berteroa incana* и *Polygonum aviculare* – АКЧ (1), НД (1), СЭ (1), СП (2), АСП (1), НЦЦ (2).

Pb (3 ПДК): *Capsella bursa-pastoris* и *Diplotaxis muralis* – АКЧ (2), НД (1), СЭ (1), СП (1), АСП (1), НЦЦ (1); *Sisymbrium polymorphum* – АКЧ (5), НД (5), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (5); *Polygonum aviculare* и *Berteroa incana* – АКЧ (1), НД (2), СЭ (1), СП (1), АСП (1), НЦЦ (1).

Zn (2 ПДК): *Capsella bursa-pastoris* и *Sisymbrium polymorphum* – АКЧ (1), НД (1), СЭ (2), СП (1), АСП (3), НЦЦ (1); *Diplotaxis muralis* – АКЧ (1), НД (1), СЭ (1), СП (2), АСП (2), НЦЦ (1); *Berteroa incana* – АКЧ (1), НД (1), СЭ (1), СП (1), АСП (1), НЦЦ (2) и *Polygonum aviculare* – АКЧ (5), НД (4), СЭ (5), СП (5), АСП (4), НЦЦ (4).

Zn (3 ПДК): *Capsella bursa-pastoris* и *Sisymbrium polymorphum* – АКЧ (1), НД (1), СЭ (1), СП (2), АСП (1), НЦЦ (3); *Diplotaxis muralis* – АКЧ (1), НД (2), СЭ (1), СП (1), АСП (1), НЦЦ (1); *Berteroa incana* – АКЧ (1), НД (2), СЭ (2), СП (2), АСП (2), НЦЦ (1) и *Polygonum aviculare* – АКЧ (5), НД (5), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (5).

Ni (3 ПДК): *Capsella bursa-pastoris* – АКЧ (1), НД (3), СЭ (1), СП (1), АСП (1), НЦЦ (2); *Diplotaxis muralis* – АКЧ (5), НД (5), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (5); *Sisymbrium polymorphum* и *Polygonum aviculare* – АКЧ (2), НД (2), СЭ (2), СП (2), АСП (3), НЦЦ (1); *Berteroa incana* – АКЧ (1), НД (2), СЭ (2), СП (3), АСП (3), НЦЦ (1).

Co (3 ПДК): *Capsella bursa-pastoris*, *Diplotaxis muralis* и *Berteroa incana* – АКЧ (1), НД (1), СЭ (3), СП (2), АСП (2), НЦЦ (2); *Sisymbrium polymorphum* и *Polygonum aviculare* – АКЧ (1), НД (1), СЭ (1), СП (1), АСП (1), НЦЦ (1).

Fe (3 ПДК): *Diplotaxis muralis*, *Sisymbrium polymorphum* и *Capsella bursa-pastoris* – АКЧ (1), НД (2), СЭ (2), СП (1), АСП (2), НЦЦ (3); *Berteroa incana* – АКЧ (5), НД (5), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (5) и *Polygonum aviculare* – АКЧ (1), НД (2), СЭ (2), СП (2), АСП (1), НЦЦ (1).

Cd (2 ПДК): *Capsella bursa-pastoris* и *Polygonum aviculare* – АКЧ (1), НД (1), СЭ (1), СП (2), АСП (2), НЦЦ (2); *Diplotaxis muralis* – АКЧ (5), НД (5), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (5); *Sisymbrium polymorphum* и *Berteroa incana* – АКЧ (2), НД (2), СЭ (3), СП (2), АСП (1), НЦЦ (1).

Комплексное загрязнение по водной вытяжке из образца почвосмеси в зоне импакта Донецкого металлургического завода: *Capsella bursa-pastoris* – АКЧ (4), НД (5), СЭ (4), СП (5), АСП (4), НЦЦ (5); *Diplotaxis muralis* – АКЧ (4), НД (4), СЭ (4), СП (3), АСП (5), НЦЦ (5); *Sisymbrium polymorphum* – АКЧ (3), НД (5), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (3); *Berteroa incana* – АКЧ (3), НД (3), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (5) и *Polygonum aviculare* – АКЧ (3), НД (5), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (5).

Комплексное загрязнение по водной вытяжке из образца почвосмеси в зоне импакта Енакиевского металлургического завода: *Capsella bursa-pastoris* – АКЧ (5), НД (5), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (5); *Diplotaxis muralis* – АКЧ (4), НД (4), СЭ (5), СП (3), АСП (3), НЦЦ (3); *Sisymbrium polymorphum* – АКЧ (5), НД (5), СЭ (4), СП (4), АСП (5), НЦЦ (5); *Berteroa incana* – АКЧ (4), НД (4), СЭ (4), СП (5), АСП (5), НЦЦ (5) и *Polygonum aviculare* – АКЧ (5), НД (5), СЭ (5), СП (3), АСП (4), НЦЦ (4).

Комплексное загрязнение по водной вытяжке из образца почвосмеси в зоне импакта Ясиновского коксохимического завода: *Capsella bursa-pastoris* – АКЧ (4), НД (3), СЭ (3), СП (5), АСП (5), НЦЦ (4); *Diplotaxis muralis* – АКЧ (3), НД (5), СЭ (4), СП (5), АСП (4), НЦЦ (3); *Sisymbrium polymorphum* – АКЧ

(5), НД (5), СЭ (5), СП (5), АСП (5), НЦЦ (4); *Berteroa incana* – АКЧ (4), НД (5), СЭ (4), СП (3), АСП (5), НЦЦ (5) и *Polygonum aviculare* – АКЧ (4), НД (5), СЭ (4), СП (3), АСП (5), НЦЦ (5).

Установлено, что при экспресс-анализе по гистологическим показателям корня в условиях монодоминантного загрязнения медью рекомендован вид *Capsella bursa-pastoris*, свинцом – *Sisymbrium polymorphum*, цинком – *Polygonum aviculare*, железом – *Berteroa incana*, никелем и кадмием – *Diplotaxis muralis*, что, по-видимому, отражается и на показателях структурной трансформации корня при полифакторном загрязнении. Экспериментально подтверждено предположение одновременной совместной трансформации всех структурных элементов апикальной части корня используемых тест-видов в условиях токсического воздействия.

Библиографический список

1. Алемасова А. С., Сафонов А. И. Тяжелые металлы в фитосубстратах – индикаторы антропогенного загрязнения воздуха в промышленном регионе // Лесной вестник (Forestry Bulletin). 2022. Т. 26, № 6. С. 5–13. doi: 10.18698/2542-1468-2022-6-5-13
2. Кравсун Т. И. Фитотестирование загрязнения тяжёлыми металлами почв Донбасса // Разнообразие растительного мира. 2020. № 3 (6). С. 37–44.
3. Влияние военных действий на содержание некоторых металлов в почве Саур-Могилы, Донбасс / А. С. Алемасова, Ю. И. Пенькова, А. С. Пивоварова, Р. В. Остапенко // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 3. С. 33–39. doi: 10.25750/1995-4301-2018-3-033-039
4. Трофимова О. И. Исследование видовой специфичности олигосахаридов клеточной стенки растений, обладающих ризогенным эффектом // Физиология растений – теоретическая основа инновационных агро- и фитобиотехнологий : Междунар. науч. конф. Калининград : Аксиос, 2014. С. 120–122.
5. Сафонов А. И. Функциональная значимость меристем растений-индикаторов в биодиагностике природных сред // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 10–13.
6. Сафонов А. И. Аномалии эмбриональных структур растений-индикаторов Донбасса // Разнообразие растительного мира. 2022. № 3 (14). С. 5–18.
7. Сафонов А. И. Новые виды растений в экологическом мониторинге Донбасса // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2020. № 1. С. 96–100.
8. Калинина А. В. Фитоиндикационный мониторинг на отвалах угольных шахт г. Макеевки, внедрение данных в образовательную программу // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса. Донецк : Донецкий национальный университет, 2017. С. 80–82.
9. Бардина Т. В. Применение лабораторного метода фитотестирования в почвенно-экологическом мониторинге в зоне влияния объекта прошлого экологического ущерба // Крымская инициатива – Экологическая безопасность регионов. Симферополь : ООО «Эльиньо», 2017. С. 122–127.
10. Турчанинова А. В. Первичные реакции фитоиндикатора на загрязнение почв тяжёлыми металлами при прорастании // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2022. Т. 1. № 14. С. 102–105.

11. Турчанинова А. В. Видовая металлочувствительность растений-индикаторов // Донецкие чтения 2021 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы VI Междунар. научн. конф. Донецк : ДонНУ, 2021. С. 172–174.

БЕЛОКОЛОСОСТЬ НА СОРТАХ ОЗИМОЙ РЖИ

Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова

*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, immunitet@fanc-sv.ru*

В наших исследованиях (2019–2021 гг.) выявлена тенденция положительной связи между корневой инфекцией и белоколосостью растений озимой ржи ($r = 0,15 \dots 0,21$ и $r = 0,30 \dots 0,49$). На уровень белоколосости в значительной мере влияет густота стеблестоя, обусловленная в региональных условиях выносливостью к снежной плесени ($r = 0,79$). Установлен доминирующий вклад сорта (59,4%) в изменчивость признака белоколосости.

Ключевые слова: поражение зерна и корней, структура микроорганизмов зерна.

В последнее время многие исследователи сталкиваются с проблемой белоколосости и белостебельности зерновых культур [1–3]. Посевы выглядят здоровыми, но колоски отдельных растений бесплодны или с очень незначительным количеством завязавшихся зерновок. До сих пор нет единого мнения о причинах данного явления. Белоколосость может быть вызвана неблагоприятными погодными условиями (затяжные дожди, чередующиеся с короткими периодами засухи во время цветения) или посевом некондиционных щуплых семян с низкой всхожестью и энергией прорастания, особенно на участках с бедной почвой. Ряд исследователей склонны считать, что колосья обесцвечиваются в результате поражения растений возбудителями фузариоза колоса и корневых гнилей [4, 5]. В агроэкологических условиях Кировской области на колосьях озимой ржи отсутствовали признаки оранжево-розового налета мицелия типичных возбудителей: *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. syn. *Gibberella avenacea* R.J. Cook, *Fusarium poae* (Peck) Wollen., *Fusarium sporotrichioides* Sherb., *Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc.

Погодные условия 2019–2021 гг. весенне-летнего периода были весьма нестабильными, о чём косвенным образом свидетельствует гидротермический показатель (ГТК). В мае погода изменялась от засухи до избыточного увлажнения (ГТК – 0,90...2,36). В июне отмечался недостаток осадков (2020 и 2021 гг.), так и её избыток (2019 г.), что негативно повлияло на пыльцевой режим и продолжительность цветения растений. В июле 2019 г. ощущался недостаток влаги, что значительно ограничивало подачу влаги и питательных веществ в колоски, а в 2020 и 2021 гг. – осадки были близки к норме.

Цель исследований: изучить влияния среды и сорта на проявление белоколосости у растений озимой ржи.

Материалом исследований были 48 сортов озимой ржи селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока и отечественные сорта из других НИУ РФ. Для оценки белоколосости использовали относительный показатель: отношение количества пораженных растений к количеству всех растений на 1 м². Проведён фитопатологический и микробиологический анализ зерна и корней у 8 сортов озимой ржи: Кировская 89, Фалёнская 4, Снежана, Графиня, Альфа, Чулпан 7, Волхова и Солнечная, из разных эколого-географических групп для выявления связей между инфицированностью генеративных органов, ризопланы корней и структуры микроорганизмов поражённых растений и семян. Фитопатологический анализ проводили по методикам ВИЗР. Установили общую инфицированность зерна и характер поражения растений корневыми гнилями в конце онтогенеза (фаза полной спелости). Видовую структуру микроорганизмов зерна изучали путём посева их на питательную среду – картофельно-глюкозный агар. Идентификацию микроорганизмов проводили, когда культурально-морфологические признаки штаммов наиболее четко выражены. В работе использовали общеизвестные методики и справочную литературу. Частоту встречаемости рода (вида) микромицета оценивали по числу зерновок, в которых он встречался, и выражали в процентах от общего количества инфицированных семян.

Проявление белоколосости на сортах ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока изменялось от 0,02 до 0,47%. Наилучшее иммунологическое состояние было у сортов: Сармат, Гармония, Фалёнская универсальная, Графиня и Перепел. Содержание белоколосых растений в сортах ржи в среднем по 3-м повторениям было на уровне 0,07–0,10%. Наиболее высокое количество таких биотипов (0,31%) было у сортов Вятка 2 и Флора.

Аналогичная тенденция выявлена и у сортов отечественной селекции. Уровень проявления белоколосости в первом повторении опыта изменялся от 0,02 до 0,27% ($V = 82,5\%$), во втором – от 0,02 до 0,30% ($V = 55,4\%$), в третьем – от 0,02 до 0,24% ($V = 86,2\%$). Относительно меньшее (на уровне 0,03–0,10%) содержание таких биотипов было у 13 сортов: Московская 12, Саратовская 7, Марусенька, Антарес, Памяти Бамбышева, Альфа, НВАК 285/15, Таловская 33, Славия, Солнечная, Таловская 41, Крона и Роксана, а наибольшее (0,24%) – у сорта Вираз из Уральского НИИСХ. Оценивая уровень белоколосости по географическому происхождению изучаемого исходного материала, можно отметить наилучшее иммунологическое состояние у сортов селекции ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» и ФГБНУ ФАНЦ Юго-Востока. Частота пораженных сортов в них изменялась от 0,03 до 0,08 и от 0,03 до 0,06%, соответственно, а в среднем по группе была на уровне 0,04–0,05%. Хотя ранее по этому признаку выделялись только сорта ФГБНУ ФАНЦ Юго-Востока, которые отличаются активным и относительно непродолжительным периодом цветения растений [3, 6]. Они более скороспелые и устойчивые к полеганию за счет прочной и невысокой соломины и хорошо развитой корневой систе-

мы, но при этом сильнее поражаются снежной плесенью (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels Hallette), и в этой связи, менее зимостойки в экстремальных агро-экологических условиях Кировской области [7].

По результатам дисперсионного анализа установлен доминирующий вклад сорта в изменчивость признака белоколосости у озимой ржи, который в сортах селекции нашего института составил 68,4%, в сортах отечественной селекции – 59,4%. Велико и влияние микросреды (повторения) на патогенез, которое составило 31,0% и 39,6%, соответственно.

Поскольку основное заболевание озимых зерновых культур во многих областях Евро-Северо-Востока России, а особенно, в Кировской области – это снежная плесень [7, 8], было проанализировано влияние болезни на частоту встречаемости белоколосых и белостебельных биотипов в сортах. В ходе корреляционного анализа выявлена тесная и достоверная связь (при $P \geq 0,99$) – $r = 0,79$ между этими признаками. В этой связи можно полагать, что густота общего и продуктивного стеблестоя, обусловленная выносливостью к снежной плесени, в определенной мере усиливает проявление белоколосости и белостебельности и белостебельности в биоценозе. Эта тенденция будет усиливаться на почвах, бедных по уровню плодородия, и при недостатке элементов питания для растений – в загущенных биоценозах.

При фитопатологическом анализе корневой системы в фазу полной спелости у разных по происхождению и уровню белоколосости тест-сортот выявлено преобладание в сортах пораженных растений с частотой от 52,2% (Альфа) до 93,0% (Волхова), при среднем значении 80,0% (табл. 1). Оценивая развитие болезни по шкале М. Ф. Григорьева, лишь один сорт Альфа можно характеризовать как среднеустойчивый к корневым гнилям, остальные – восприимчивые. Коэффициент корреляции (r) между белоколосостью и поражением корневыми гнилями в отчетном году составил 0,21, белоколосостью и развитием корневых гнилей – 0,49.

Таблица 1

Характер проявления корневых гнилей на тест-сортах озимой ржи

Сорт	Поражение, %	Развитие болезни, %
Кировская 89	74,7±9,95	28,8±3,80
Фаленская 4	72,8±3,60	28,7±3,65
Снежана	88,2±0,65	34,2±4,60
Графиня	86,7±6,65	31,7±1,65
Альфа	52,2±0,10	24,5±0,55
Чулпан 7	85,0±7,80	39,3±1,75
Волхова	93,0±3,55	39,7±4,20
Солнечная	87,9±0,90	33,4±3,60
Среднее по сортам	80,0	32,5
НСР ₀₅	9,21	5,53
P, %	3,80	5,61

В результате микробиологического анализа зерновок с пораженных колосьев, выявлена их высокая инфицированность, которая в среднем по

сортименту составила 63,3% (табл. 2). Однако присутствовала значительная внутрипопуляционная изменчивость признака: от 36,0% (Фалёнская 4) до 84,0% (Солнечная). Данное обстоятельство свидетельствует о том, что мелкое и щуплое зерно не всегда является признаком патологии и зараженности. Следует также учитывать латентное (бессимптомное) заражение семян грибами – продуцентами микотоксинов. Поэтому, несмотря на отсутствие четких симптомов поражения и низкую инфицированность семян, всегда имеется опасность скрытой инфекции. Высев таких семян сопровождается изреженностью всходов, зараженностью корневой системы и основания стебля. В видовой структуре микрофлоры зерна озимой ржи были идентифицированы представители 6 родовых таксонов: *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp., *Stemphylium* spp., *Curvularia* spp., *Helminthosporium* spp., *Fusarium* spp. Выделенные сообщества микроорганизмов мы условно разделили на 2 группы: грибы с темноокрашенным мицелием, куда вошли штаммы *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp., *Stemphylium* spp., *Curvularia* spp., *Helminthosporium* spp. (в основном *Bipolaris sorokiniana*) и грибы с розовоокрашенным мицелием *Fusarium* spp. (*F. sporotrichoides*, *F. avenaceum*).

Таблица 2

Структура микроорганизмов зерна ржи с признаками белоколосости

Сорт	Инфицированных зерновок, %	Доля групп микроорганизмов в патогенном комплексе семян, %
Кировская 89	72,0	<i>Alternaria</i> spp. – 32,0; <i>Curvularia</i> spp. – 16,0; <i>Cladosporium</i> spp. – 16,0; <i>Stemphylium</i> spp. – 8,0
Фаленская 4	36,0	<i>Cladosporium</i> spp. – 16,0; <i>F. sporotrichoides</i> – 12,0; <i>Alternaria</i> spp. – 8,0
Снежана	52,0	<i>Alternaria</i> spp. – 36,0; <i>Cladosporium</i> spp. – 8,0; <i>Bipolaris sorokiniana</i> – 8,0
Графиня	66,0	<i>Alternaria</i> spp. – 36,0; <i>Cladosporium</i> spp. – 20,0; <i>F. sporotrichoides</i> – 8,0; <i>Bipolaris sorokiniana</i> – 2,0
Альфа	68,0	<i>F. avenaceum</i> – 40,0; <i>Cladosporium</i> spp. – 16,0; <i>Alternaria</i> spp. – 12,0
Чулпан 7	76,0	<i>Curvularia</i> spp. – 32,0; <i>Cladosporium</i> spp. – 20,0; <i>F. avenaceum</i> – 12,0; <i>Alternaria</i> spp. – 12,0
Волхова	52,0	<i>Alternaria</i> spp. – 36,0; <i>Cladosporium</i> spp. – 8,0; <i>Bipolaris sorokiniana</i> – 8,0
Солнечная	84,0	<i>Alternaria</i> spp. – 40,0; <i>Stemphylium</i> spp. – 16,0; <i>Cladosporium</i> spp. – 12,0; <i>F. sporotrichoides</i> – 8,0; <i>F. avenaceum</i> – 8,0

Оценивая характер инфицирования семян озимой ржи, выявлено доминирование грибов с темноокрашенным мицелием. Наибольшую частоту встречаемости этой группы микромицетов занимают виды *Alternaria* spp. (8,0–40,0%), затем *Cladosporium* spp. (8,0–20,0%), выделенные из каждой пробы зерновок. Многие виды *Alternaria* spp. и *Cladosporium* spp. вызывают такие заболевания, как оливковая плесень, чернь колоса и чёрный зародыш и практически всегда присутствуют в контаминанте зерна и патокомплексе

корневых инфекций зерновых культур. Гельминтоспориозная инфекция с небольшой частотой (2,0–8,0%) обнаружена на зерне только 3-х сортов ржи: Снежана, Графиня и Волхова. Виды *Curvularia* spp. и *Stemphylium* spp. принято считать условно-патогенными грибами и сопутствующей микрофлорой зерна. Особой опасности они не представляют. Фузариозная инфекция с частотой от 8,0 до 40,0% диагностирована на зерновках пяти сортов озимой ржи. Среди фузариозных грибов идентифицированы только два вида: *F. sporotrichoides* (8,0–12,0%) и *F. avenaceum* (8,0–40,0%). Следует отметить, что вид *F. avenaceum* считается одним из наиболее агрессивных фузариев, и он сильнее развивается в условиях достаточного и избыточного увлажнения. Его основной ареал – северо-западный и центральный регионы РФ, Приморский край [9, 10]. Однако в 2019 г. такие условия в период вегетации растений сложились и в Кировской области, что, вероятно, усилило видовую контаминацию зерна озимой ржи свежего урожая. По нашим данным [9], вид *F. sporotrichoides* является одним из основных возбудителей фузариоза колоса и зерна озимой ржи в Кировской области. Среди других видов фузариев он наиболее вредоносен, так как снижает озерненность колоса до 26,0%, а продуктивность растений – до 78,0%.

Таким образом, анализируя вклад отдельных биотических и абиотических факторов в проявление белоколосости озимой ржи, нельзя сделать однозначный вывод о причине данного явления. Можно лишь говорить о совокупном их действии. В наших исследованиях (2019–2021 гг.) выявлена тенденция положительной связи между корневой инфекцией и белоколосостью растений озимой ржи ($r = 0,15 \dots 0,21$ и $r = 0,30 \dots 0,49$). На уровень белоколосости в значительной мере влияет густота стеблестоя, обусловленная в региональных условиях выносливостью к снежной плесени ($r = 0,79$). Установлен доминирующий вклад сорта (59,4%) в изменчивость признака белоколосости. Обнаружено значительное влияние микросреды (повторения полевого опыта) на патогенез, которое составило 39,6%.

Библиографический список

1. Араева Н. Н., Манискин С. Г. The impact of soil processing on root rot development and spring wheat productivity // Articles for the period January. 2017. No. 11 (65). P. 99–102. doi: 10.23670/IRJ.2017.65.132
2. Фитосанитарный мониторинг наиболее вредоносных болезней озимой ржи в Республике Татарстан / М. Л. Пономарева, С. Н. Пономарев, Г. С. Маннапова, Л. В. Илалова // Вестник Красноярского ГАУ. 2019. № 9 (150). С. 27–34
3. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Белоколосость на сортах озимой ржи в агроэкологических условиях Кировской области // Аграрный вестник Урала. 2020. № 02 (193). С. 27–36. doi: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-27-36
4. Response of wild *Avena* species to fungal infection of grain / Т. Yu. Gagkaeva, О. Р. Gavrilova, А. S. Orina, Е. V. Blinova, I. G. Loskutov // Russian Journal of Genetics. 2017. No. 5 (6). P. 499–508. doi: 10.1016/j.cj.2017.04.005.
5. Кутлубердина Д. Р., Хайруллин Р. М. Испытание эндофитного штамма *Bacillus subtilis* 11 РН против фузариоза колоса яровой пшеницы // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 2. С. 58–64. doi: 10.25750/1995-4301-2010-2-058-064

6. Щеклеина Л. М. Характер цветения сортов озимой ржи различного эколого-географического происхождения // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Киров : ФГБНУ НИИСХ Северо-Востока, 2015. С. 286–289.

7. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К., Уткина Е. И. Поиск иммунологически-ценных генотипов озимой ржи с использованием отдельных параметров неспецифической устойчивости // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22(4). С. 507–517. doi: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.507-517

8. Щеклеина Л. М. Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21(2). С. 124–132. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132

9. Зависимость грибной инфекции зерновых культур от сезонной динамики климатических факторов / Т. К. Шешегова, Л. М. Щеклеина, И. Г. Щенникова, А. Н. Мартянова // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31, № 4. С. 58–62.

10. Sheshegova T. K., Shchekleina L. M. Composition of Microorganisms Found in Winter Rye Grain in Kirov Oblast // Russian Agricultural Sciences. 2021. Vol. 47. No. 4. P. 370–376. doi: 10.3103/S1068367421040170

ЛЮПИН УЗКОЛИСТНЫЙ КАК СИДЕРАЛЬНАЯ И КОРМОВАЯ КУЛЬТУРА В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С. А. Емелев, Е. С. Лыбенко

*Вятский государственный агротехнологический университет,
k-selex@vgsha.info, k-ozir@vgsha.info*

В статье представлен опыт использования новых сортов люпина узколистного в качестве органического удобрения почв. Определены наиболее эффективные варианты (сорта) применения в Кировской области, повышающие плодородие почвы.

Ключевые слова: люпин узколистный, сорт, урожайность, зеленая масса, сидерат.

Производство продуктов питания животного происхождения неразрывно связано с формированием отходов с различными свойствами, наибольшим объемом среди которых обладают навоз, помет и др.

Значительно расширились сведения о роли некоторых культур при возможности их использования в пищу как животных, так и человека. Бобовые культуры широко возделываются и применяются в сельскохозяйственном производстве как мира, так и Российской Федерации [1–3].

Экологическая безопасность региона включает в себя систему мер и действий по предотвращению возникновения и развития экологически опасных ситуаций и ликвидации их последствий, в том числе и отдаленных, по защите жизни и здоровья граждан, а также окружающей природной среды. К числу наиболее важных направлений обеспечения экологической безопасности относятся: борьба с загрязнениями природной среды за счет повышения

степени безопасности технологий; создание экологически чистых технологий, транспорта и энергетики; рациональное использование природных ресурсов и др. [5]. С этой целью и проводится 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 выявлено мутагенное, росторегулирующее и фунгицидное действие на яровых зерновых культурах (ячмене, пшенице) агрохимикатов и биопрепаратов [6–9], и пока слабо изучено влияние на растения новых сортов полевых культур условий Кировской области [10, 11].

Восполнение потенциала почвы, как средства производства, возможно за счет бобовых и зернобобовых: гороха, вики, кормовых бобов, люпина. Такие культуры как фасоль, нут, соя для нашего региона не актуальны из-за длительного периода развития (вегетации).

Люпин имеет более широкое использование в народном хозяйстве: декоративное, кормовое, сидеральное. В большинстве мы встречаемся с многолетним видом люпина, который в сельском хозяйстве считается сорным (неоднородно созревающие и легко растрескивающиеся бобы), содержит алкалоид люпинин (горький) и непригоден для скормливания (как зеленая масса, так и семена). Некоторые однолетние виды люпина (узколистный, желтый, белый) содержат пониженное количество алкалоида и пригодны уже для скормливания скоту.

Люпин узколистный (*Lupinus angustifolius* L.) – самый раннеспелый и пластичный вид сельскохозяйственных культур среди производимых в России, и единственный адаптированный к высоким северным широтам – до 60° северной широты. Он растет на кислых песчаных почвах, лишенных 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 способна разлагать труднодоступные для других растений фосфаты почвы. Помимо этого, проникая в почву до 1,5 м и более, корни люпина используют калий и другие макро- и микроэлементы из почвы. Поэтому люпин может обходиться без удобрений, что в условиях финансового и ресурсного дефицита становится весьма существенным фактором. Преимуществом данной культуры является прямостоячий побег (не требующий поддерживающей культуры); у современных сортов получено пониженное содержание люпинина (в 10 раз ниже), что способствует лучшему скормливанию как зеленой массы, так и семян. Из однолетних люпинов в условиях Волго-Вятского региона устойчивые урожаи может давать только этот вид [1–3].

Сорта люпина в нашей стране в основном селекции ГНУ ВНИИ люпина – филиала ФГБНУ «ФНЦ ВИК им. В. Р. Вильямса»: Кристалл, Витязь, Сидерат 46, Брянский кормовой, Белорозовый 144, Снежеть, Белозерный 110, Узколистный 53, Смена, Эпигональ и др. [3, 4].

В Волго-Вятском регионе зарегистрировано порядка 20 сортов люпина узколистного: Аккорд, Белорозовый 144, Брянский кормовой, Витязь, Деко 2, Орловский сидерат 2, Сидерат 38, Сидерат 46, Снежить и др. В Кировской области районировано только три сорта: Ладный, Кристалл, Орловский сидерат.

Селекция, и прежде всего оценка новых сортов [10, 11] люпина узколистного, является приоритетной для нашего региона.

Цель исследования – изучить особенности формирования растений различных сортов люпина узколистного, обеспечивающих высокий урожай зеленой и сухой массы в условиях Кировской области для восполнения органического вещества почв.

Опыты проведены на поле агротехнопарка Вятского ГАТУ в 2022 г. Изучали сорта люпина узколистного селекции ФНЦ ВИК им. В. Р. Вильямса (ВНИИ люпина, г. Брянск) в условиях Кировской области. В качестве стандартного использован безлисточковый сорт гороха посевного Указ (селекции ФГБУН Самарский ФИЦ РАН и ФГБУН ФИЦ Казанский научный центр РАН), в качестве контрольного высевался 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) [12].

Результаты исследований показали, что изучаемые сорта оказали влияние на урожайность вегетативной массы (зеленой – естественной влажности на момент уборки) зернобобовых (табл. 1): можно отметить существенную прибавку у всех сортов люпина узколистного от 30% и более к гороху Указ. В 2022 году прибавку зеленой массы более 50% дали сорта: Витязь, Смена, Брянский кормовой, Белорозовый 144, а наибольшая прибавка наблюдалась у сорта Белорозовый 144 (+303,8 ц/га = +68%), при НСР_{0,95} = 43,6 ц/га. Пелюшка Рябчик по зеленой массе уступила сорту Указ 13% или 57,8 ц/га. Значительный объем зеленой массы будет способствовать большему насыщению почвы органическим веществом и сохранению в пахотном слое почвы влаги, необходимой для выращивания последующих культур, а также созданию более структурированного слоя почвы.

Таблица 1

Урожайность вегетативной массы (зеленая) сортов зернобобовых, ц/га

Сорт	Масса зеленая	
	среднее	± к Указ
Указ (горох)	445,8	—
Кристалл	629,0	+183,3
Витязь*	681,8	+236,0
Сидерат 46	619,5	+173,8
Брянский кормовой*	714,5	+268,8
Белорозовый 144	749,5	+303,8
Снежить	655,3	+209,5
Белозерный 110	611,0	+165,3
Смена	702,3	+256,5
Рябчик (пелюшка)	388,0	-57,8
НСР _{0,95}		43,6

После уборки зеленой массы зернобобовых культур проведена оценка содержания сухого вещества растений (рис.): более высокое содержание отмечено у гороха Указ (27,5%) и Рябчик (23,5%). У изучаемых сортов люпина узколистного сухого вещества в основном было ниже на 9...11%, чем у гороха Указ – Кристалл, Витязь, Сидерат 46 и других (16,4...18,1%), а наименьшее количество сухого вещества (15,4%) – у сорта Смена.

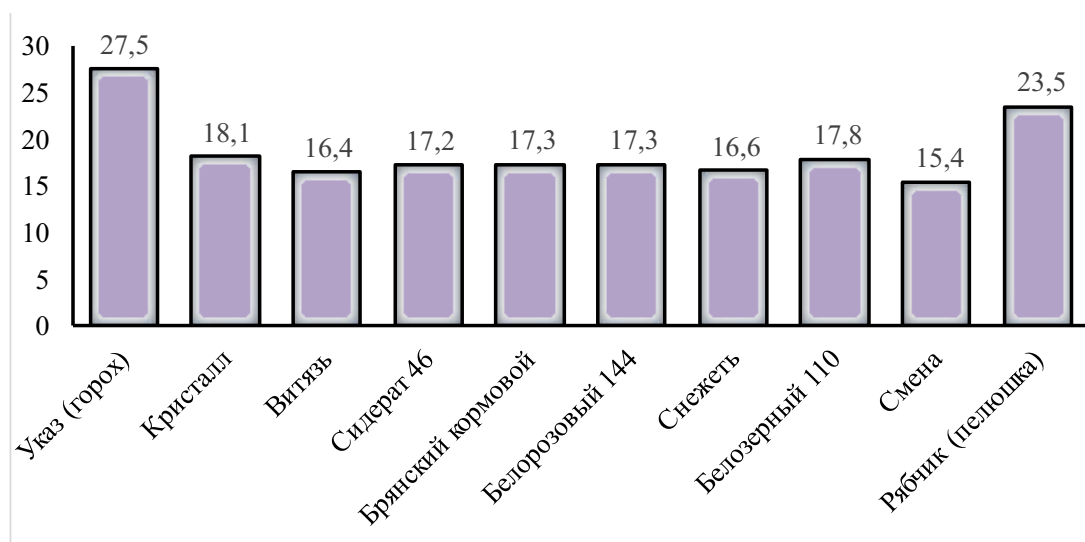


Рис. Содержание сухого вещества растений люпина узколистного, %

Проводя математический анализ данных по урожайности с учетом содержания сухого вещества у зернобобовых культур (табл. 2), можно отметить положительное влияние (прибавку) только у некоторых сортов по сравнению с сортом Указ (141,1 ц/га).

Максимальная урожайность абсолютно сухого вещества получена у сорта Белорозовый 144 – 156,1 ц/га (НСР_{0,95} = 12,3 ц/га).

Таблица 2

Урожайность вегетативной массы (сухой) сортов зернобобовых, ц/га

Сорт	Масса абсолютно сухого вещества	
	среднее	± к Указ
Указ (горох)	141,1	–
Кристалл	132,0	-9,1
Витязь	130,7	-10,4
Сидерат 46	125,5	-15,6
Брянский кормовой	146,6	+5,5
Белорозовый 144	156,1	+15,0
Снежить	131,8	-9,3
Белозерный 110	132,8	-8,3
Смена	135,0	-6,1
Рябчик (пелюшка)	109,0	-32,1
НСР _{0,95}		12,3

Половина испытываемых сортов люпина узколистного незначительно уступила (– 6,1...10,4 ц/га) по урожайности сухой массы сорту Указ.

По сбору урожая сухого вещества существенно уступили гороху Указ люпин сорта Сидерат 46 и пелюшка Рябчик – 15,6 и 32,1 ц/га (НСР_{0,95} = 12,3 ц/га).

Для получения высокой урожайности зеленой и абсолютно сухой вегетативной массы лучше подходит выращивание люпина узколистного сорта Белорозовый 144. Его использование возможно как в сидеральных (запашка зеленой массы – насыщение органическим веществом пахотного слоя), так и в кормовых (данный сорт имеет пониженное содержание алкалоидов – пригоден для скармливания животным) целях

Сорт люпина Сидерат 46 не обладает существенными преимуществами по формированию органического вещества в качестве зеленого удобрения по сравнению с другими сортами люпина узколистного и стандартом горох посевной Указ в условиях Кировской области.

Преимущества гороха посевного (высокое содержание сухого вещества и пищевое использование) резко снижаются при промышленном производстве при некоторых субъективных факторах: при выращивании около населенных пунктов резко возрастают потери урожая, как зеленой массы, так и семян (в основном за счет вытаптывания).

Библиографический список

1. Леконцева Т. А., Лыбенко Е. С. Семенная продуктивность сортов люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) в условиях Кировской области // Вестник Вятской ГСХА. 2021. № 2 (8). С. 4.
2. 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.
3. Агеева П. А., Почутин Н. А. Актуальные требования к новым сортам узколистного люпина в условиях меняющегося климата // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 1 (17). С. 99–103.

4. Агеева П. А. Новый сорт узколистного люпина Белорозовый 144 // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. трудов. Лобня, 2021. С. 45–49.
5. Кривошеин Д. А. Дмитренко В. П., Федотова Н. В. Основы экологической безопасности производств : учебное пособие. СПб. : Лань, 2021. 336 с.
6. Емелев С. А. Создание исходного материала для селекции ярового ячменя под действием мочевины, лазерного излучения и дальнего красного света : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Киров, 2008. 18 с.
7. Помелов А. В., Дудин Г. П. Защитное и неспецифическое действие биофунгицидов на яровом ячмене // Агро XXI. 2009. № 7–9. С. 35–36.
8. 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
9. Ростстимулирующая активность листоватых лишайников / Л. И. Домрачева, А. Л. Ковина, С. Ю. Огородникова, А. И. Коротких, А. В. Короткова, Е. А. Домнина // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 130–135. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-130-135
10. 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, 2017. С. 42–44.
11. 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.
12. Основы научных исследований в агрономии / В. Ф. Моисейченко, М. В. Трифонова, А. Х. Заверюха и др. М. : Колос, 1996. 336 с.

ОПЫТ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ РАСТОРОПШИ ПЯТНИСТОЙ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. П. Кислицына^{1,2}, Ф. А. Попов¹, О. В. Бобчихин³

¹ ФГБНУ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого, kislitsyna.56@mail.ru

² Вятский государственный университет,

³ ООО «Казанское» Республика Марий Эл

В статье приводятся результаты возделывания расторопши пятнистой в Кировской области в 2021 году. Установлено, что в условиях сухой и жаркой погоды период от появления всходов до созревания семян составлял от 88 до 90 дней. В зависимости от агроландшафтных участков урожайность семян расторопши варьировала от 450 до 600 кг/га. Содержание силимарина в семенах было высоким – 3,7%.

Ключевые слова: расторопша пятнистая, фаза развития, масса тысячи семян, силимарин.

Расторопша пятнистая (лекарственная) или молочный чертополох – *Silibum marianum* (L.). Caern относится к семейству астровых (Asteraceae).

Это однолетнее травянистое растение высотой от 0,6 до 3 м [1, 2]. Расторопша пятнистая входит в список растений, разрешенных к применению в медицинской практике [3]. Ценность культуры заключается в том, что она содержит большое количество биологически активных веществ широкого спектра действия, которые используются в медицине и ветеринарии. Семена расторопши содержат около двухсот различающихся по действию химических компонентов, участвующих в регуляции жирового обмена и в работе нервной системы, необходимых для питания сердечной мышцы, кожи, улучшающих работу органов зрения [3, 4]. Одним из наиболее ценных веществ расторопши является уникальный класс производных флавоноидов и фенилпропаноидов – флаволигнаны: силибин, силидианин, силикристин, трициклические кетоны и бензофураны адаптогенной природы, которые имеют гепатопротекторные свойства [3, 5]. По данным В. С. Цаприловой и Р. А. Родионовой [6] в семенах их содержание составляет 1,5–4%, зависит от разновидности растений и места произрастания. Плоды расторопши богаты макро и микроэлементами. Содержание калия, кальция, магния и железа в них составляет соответственно 9,2, 16,00, 4,20, 0,08 мг/кг. Микроэлементный состав плодов также разнообразен – марганец, медь, цинк, хром, никель. Плоды расторопши содержат рекордное количество селена (22,9 мг/кг) и бора (22,4 мг/кг).

С 1975 г. в России расторопша изучается как лекарственное растение. За это время был накоплен большой опыт по ее культивированию, базирующийся на многолетних исследованиях целого ряда учреждений. Расторопшу как лекарственное растение уже много лет традиционно выращивают в Краснодарском крае, Самарской области, Башкирии и других регионах. Она получила распространение в основном в тех районах, где безморозный период не менее 160–180 дней.

В Кировской области её промышленного возделывания на семена нет, хотя расторопша относится к неприхотливым растениям, считается достаточно устойчивой к засухе, особенно во второй половине вегетации [7].

Объектами исследований являлась расторопша пятнистая, высеянная в 2021 г. в бывшем ООО им. Чапаева Шабалинского района Кировской области фермером О. В. Бобчихиным.

Цель исследований – оценка продукционного процесса расторопши пятнистой на дерново-подзолистых почвах в Кировской области.

Территория, отведённая под посев культуры, была представлена отдельными контурами с различным рельефом (склоновые земли разной экспозиции, подошвы склонов и отдельные выровненные участки).

Для наблюдений были выбраны два типичных участка. Первый участок площадью 15 га ровный с небольшим уклоном на северо-запад, второй – выровненный участок с небольшим западным уклоном, площадью 11,8 га,

Почвы участков дерново-подзолистые легкосуглинистые. Содержание органического вещества низкое (1,32–1,35%), подвижного фосфора 45 и 149 мг/кг и обменного калия 122 и 133 мг/кг соответственно по первому и второму участкам. Кислотность в солевой вытяжке – 4,5 и 4,9 единиц рН.

Посев расторопши пятнистой сорта Панацея (внесён в Реестр селекционных достижений РФ с 2002 г.) был проведен 20 и 22 мая сеялкой Rapid по хорошо подготовленной почве. Ширина междурядий 30 см. Глубина заделки семян 4 см. Норма высева семян 500 тыс. всхожих зерен на гектар.

На первом участке (предшественник – залежь 4-х лет) удобрения не вносились. На втором (предшественник многолетние травы 2 года жизни) – внесено 70 кг/га нитрофоски при посеве. Обработка посевов против однодольных сорняков на первом участке была проведена в июне, гербицидом Ланкастер, с рекомендованной нормой расхода препарата 0,4 г/га, что способствовало снижению засорённости пыреем ползучим. На втором участке проведения гербицидной обработки не требовалось.

Вегетационный период 2021 г. был сухим и жарким. Температура воздуха в течение всего лета была выше средне многолетних величин на 3–4 °С, осадков с июня по август выпало около 50% климатической нормы, что отразилось на развитии растений.

Температура конца мая была оптимальной для прорастания семян расторопши пятнистой. Появление всходов расторопши было отмечено 1–3 июня. Полевая всхожесть была низкой и составила всего 30–32%.

Расторопша пятнистая в начальные фазы растёт медленно и формирует, главным образом, корневую систему. Активный рост в высоту у расторопши начинается с фазы образования стрелки и бутонизации. Биологической особенностью растения является то, что рост растений в высоту может продолжаться и в поздние фазы онтогенеза. Боковое ветвление, с образованием новых бутонов в фазу созревания плодов на основных побегах, не приводит к повышению продуктивности, так как такие цветоносы, как правило, не успевают сформировать полноценные семена, а зелёная масса затрудняет уборку [4, 7].

В наших условиях наиболее значительный рост побегов наблюдался во 2-й декаде июля в фазу бутонизации, что на месяц позднее, чем в основных районах выращивания расторопши. Только в конце июля наступил период массового цветения. Период созревания семян, даже в условиях жаркого и сухого лета был длительным. На западном склоне (участок 2) созревание семян на главном побеге проходило быстрее (табл. 1), несмотря на более поздний сев, и в те же сроки, что и на первом участке. Уборка на обоих участках из-за сильных дождей в первой декаде сентября была проведена позднее – 12 сентября прямым комбайнированием.

Таким образом, на северо-востоке Нечернозёмной зоны даже в условиях сухого и жаркого лета период всходы – созревание семян расторопши пятнистой на главном побеге составил 90 дней. В отличие от южных регионов отмечается удлинение периода от начала плодообразования до созревания семян. Высота растений на участках наблюдений достигала 90 см против 30–50 см на более крутых склонах.

Таблица 1

Сроки наступления фаз вегетации расторопши пятнистой

Фазы развития	Участок 1	Участок 2
Дата посева	20 мая	22 мая
Фенофазы: Появление всходов	1 июня	2 июня
Начало формирования розетки	14 июня	16 июня
Бутонизация	15 июля	15 июля
Цветение	22 июля	22 июля
Плодообразование	5 августа	8 августа
Созревание семян на главном побеге	31 августа	31 августа

Плотность стеблестоя к середине августа составляла 15–16 растений на 1 м² (табл. 2). На более плодородном участке с уклоном на запад на одном растении бутонов и корзинок было больше, часть их сформировано на побегах второго порядка.

Таблица 2

Плотность и структура стеблестоя расторопши пятнистой

Участок	Средняя высота растений, см	Количество растений на 1 м ²	Количество растений с бутонами и корзинками на 1 м ²	Количество корзинок и бутонов на 1 растение
Участок 1 (контур 622)	90	16	16	3,8
Участок 2 (контур 644)	90	15	15	4,2

Ряд исследователей указывают, что от порядка ветвления зависят завязываемость и качество семян расторопши. Наиболее выполненными и крупными являются семена, образовавшиеся на побегах второго порядка.

Семена одного и того же соцветия различаются по цвету (темно-коричневые и серые) и по форме (продолговато-обратно-яйцевидные и изогнутые). Масса 1000 семян, образовавшаяся на побегах второго порядка, бывает гораздо выше и составляет 25–30 г [7].

В условиях засухи 2022 г. на участке северо-восточного склона в большей мере образовывались корзинки с диаметром от 4,5 до 5 см с количеством семян от 122 до 160 штук в корзинке. На западном склоне, где было больше побегов второго порядка, помимо крупных соцветий на растении было много корзинок с диаметром 3–4 см, где количество образовавшихся семян составляло от 60 до 98 штук.

Фактическая урожайность семян расторопши пятнистой на первом участке составила 450 кг/га, на втором – 600 кг/га против 200–250 кг/га на крутых склонах.

Семена расторопши пятнистой в условиях сухой и жаркой погоды были крупные, блестящие, коричневого цвета, с массой 1000 семян 26,8 г.

Содержание флаволигандов (силибин) составило 3,5%, что значительно превышает минимальные требования к плодам расторопши пятнистой, согласно ТУ64-4-3-81 содержание должно быть не менее 2,7%.

Таким образом, в условиях жаркой и сухой погоды урожайность семян расторопши на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве низкого уровня плодородия (индекс окультуренности 0,44) составила 450 кг/га. При посеве расторопши на почве с повышенным содержанием фосфора и калия и с припосевным внесением удобрений она достигла 600 кг/га, что является экономически выгодным. Для получения высоких и устойчивых урожаев культуры на дерново-подзолистых почвах южной тайги необходимо соблюдение технологических требований к возделыванию расторопши пятнистой и размещение посевов на полях с ровным рельефом.

Библиографический список

1. Ботанико-фармакогностический словарь: Справочное пособие / К. Ф. Блинова, Н. А. Борисова, Г. Б. Гортинский, И. В. Глушвицкий, Н. Н. Забинкова / под ред. К. Ф. Блиновой, Г. П. Яковлевой. М. : Высшая школа, 1990. С. 229.
2. Георгиевский В. П. Биологически активные вещества лекарственных растений. Новосибирск : Наука, 1990. 352 с.
3. Куркин В. А., Запесочная Г. Г., Авдеева Е. В. Расторопша пятнистая : монография. Самара : ООО «Офорт»; ГОУ ВПО «СамГМУ Росздрава», 2010. 118 с.
4. Николайченко Н. В. Расторопша в Поволжье: биология, технология выращивания и применения. Саратов : Изд-во СГА, 2013. 190 с.
5. Корыляк М. З. Фитотерапевтические свойства расторопши пятнистой и ее использование в кормлении животных // Рыбохозяйственная наука Украины. 2013. № 4. С. 97–108.
6. Цаприлова С. В., Родионова Р. А. Расторопша пятнистая: химический состав, стандартизация, применение // Вестник фармации. 2008. № 3. С. 92–104.
7. Расторопша пятнистая: вопросы биологии, культивирования, применения / А. Н. Кшникаткина, П. Г. Аленин, С. А. Кшникаткин, И. А. Воронова. Пенза : Пензенский аграрный университет, 2016. 322 с.

ВЛИЯНИЕ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ СЕМЯН НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ СОРТА ИЗУМРУД

М. В. Черемисинов

*Вятский государственный агротехнологический университет,
cheremisinov.mv@yandex.ru*

В статье приводятся данные полевого опыта по изучению совместного применения химических протравителей с биопрепаратом псевдобактерин. Прибавка урожайности от применения препаратов составила от 0,8 до 8,4 ц/га. Максимальная урожайность была получена при обработке ячменя химическим препаратом тебузил совместно с биопрепаратом псевдобактерин.

Ключевые слова: химические протравители семян, псевдобактерин, урожайность, элементы структуры продуктивности ячменя.

Современное направление повышения качества и урожайности продукции растениеводства – это внедрение в сельскохозяйственное производство энергосберегающих и экологически безопасных технологий с применением биопрепаратов нового поколения. Использование широкого ряда препаратов протравителей семян, регуляторов роста не только повышают продуктивность растений, снижают пораженность болезнями, но могут вызывать морфофизиологические изменения и хлорофилльные мутации [1–10].

На семена ячменя воздействовали следующими фунгицидами-протравителями: тебузил, триактив, анкер Трио, грандсил Ультра и биопрепаратом псевдобактерин (ПБ). Опыт проводили на учебно-опытном поле Агротехнопарка Вятского ГАТУ. Семена обрабатывали в день посева в соответствии с вариантами опыта. Контроль (обработка водой 10 л/т), тебузил + ПБ (0,4+0,004л/т); триактив + ПБ (1+0,004л/га); анкер Трио + ПБ (0,5+0,004 л/т); грандсил Ультра + ПБ (0,5+0,004 л/т). Расход рабочей жидкости приготовленного рабочего раствора 10 л/т. Изучали влияние химических и биологических препаратов на урожайность ярового ячменя сорта Изумруд.

Прибавка урожайности от применения препаратов составила от 0,8 до 8,4 ц/га. Максимальная урожайность – 53,0 ц/га была получена при обработке ячменя химическим препаратом тебузил совместно с биопрепаратом ПБ (табл.). Такую прибавку в урожай можно объяснить наилучшим сочетанием двух взаимно дополняющих друг друга по спектру фунгицидной активности действующих веществ препарата тебузила – имидазол + триазол, с различной динамикой передвижения в растении, а также живых бактериальных клеток препарата ПБ. Применение данного сочетания укрепляет иммунный статус растений и помогает сохранить урожай. Наименьший урожай ячменя – 45,4 ц/га был получен при совместной обработке семян препаратами анкер Трио и ПБ.

Таблица

Влияние препаратов на урожайность ярового ячменя

Вариант	Урожайность, ц/га	Отклонение урожайности ц/га
Контроль (обработка водой 10 л/т)	44,6	0
Тебузил + псевдобактерин	53,0	+8,4
Триактив + псевдобактерин	47,8	+3,2
Анker Трио + псевдобактерин	45,4	+0,8
Грандсил Ультра + псевдобактерин	51,1	+6,5
НСР 05	10,9	–

Сравнивая препараты, имеющие одинаковое действующее вещество, в паре – грандсил Ультра + ПБ и анкер Трио+ ПБ, можно увидеть, что большее влияние оказало сочетание грандсил Ультра + ПБ, разница составила 6,5 ц/га, в паре триактив + ПБ и тебузил + ПБ, большая урожайность получена при обработке семян тебузил + ПБ, преимущество на 8,4 ц/га. Из полученных данных можно сделать вывод, что ПБ не снимает химический стресс от протрав-

ливания препаратами триактив и анкер Трио и добавлять его в баковые смеси с данными препаратами нецелесообразно.

В ходе опыта общая кустистость составляла от 4,38 шт. до 4,80 шт. При значении общей кустистости в контроле 4,38 шт. наблюдалось наибольшее значение в варианте тебузил + ПБ – 4,80 шт., что на 0,42 шт. больше. Одинаковое значение с контролем оказалось у варианта триактив + ПБ – 4,38 шт. Высокую продуктивную кустистость показал вариант анкер Трио + ПБ (4,18 шт.). Самое низкое значение по отношению к контролю обработка водой (3,70 шт.) было при обработке триактив + ПБ (3,68 шт.). Примерно одинаковые значения продуктивной кустистости в вариантах тебузил + ПБ и грандсил Ультра + ПБ – 3,90 шт. и 3,98 шт. соответственно. В варианте контроль длина стебля составила 48,1 см и длина колоса 6,9 см. По результатам опыта длина стебля колебалась от 48,1 см до 49,7 см, а длина колоса от 6,9 см до 8,0 см. Самая наибольшая длина стебля была в варианте тебузил + ПБ (49,7 см) и триактив + ПБ (49,7 см). А наименьшая длина стебля у анкер Трио + ПБ (49,0 см) и грандсил Ультра + ПБ (49,6 см). Наибольшая длина колоса отмечена в варианте анкер Трио + ПБ (8,0 см), а наименьшее – при обработке семян препаратом триактив + ПБ (7,4 см). По количеству колосков в колосе значение составило от 21,5 см до 23,0 см. Самое высокое значение показал протравитель грандсил Ультра + ПБ (23,3 см). Самое низкое значение показал триактив + ПБ (21,5 см), что на 0,9 см ниже контроля (22,4 см). По количеству зерен в колосе значение составило от 20,0 см до 23,0 см. Самое высокое значение по количеству зерен было при обработке грандсил Ультра + ПБ (23,0 см). Самое низкое значение отметились при обработке препаратом триактив + ПБ (20,0 см), что на 1,4 см ниже контроля (21,4 см).

Таким образом, обработка семян препаратами способствовала тенденции увеличению элементов структуры продуктивности ячменя. Максимальная урожайность была получена при обработке ячменя химическим препаратом тебузил совместно с биопрепаратом ПБ. Применение данного сочетания укрепляет иммунный статус растений и помогает сохранить урожай.

Библиографический список

1. Черемисинов М. В., Тагакова Л. А. Мутационное и защитное влияние протравителей семян на растения ячменя сорта Нур в третьем поколении // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем : материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Изд-во ООО Веси, 2015. С. 113–116.
2. Мутационная и модификационная изменчивость растений ячменя под действием гербицидов и фунгицидов во втором поколении / Г. П. Дудин, М. В. Черемисинов, А. В. Помелов и др. // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Киров : ФАНЦ Северо-Востока, 2018. С. 86–90.
3. Черемисинов М. В. Способы борьбы с короедом // Знания молодых: наука, практика, инновации : сб. науч. трудов междунар. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых. Киров : Вятская ГСХА, 2014. С. 96–98.
4. Черемисинов М. В., Емелев С. А. Влияние регуляторов роста и протравителей семян на площадь листьев ячменя // Методы и технологии в селекции растений и растении-

еводстве : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. (к 125-летию Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого). Киров, 2020. С. 244–246.

5. Черемисинов М. В. Мутагенное действие химических и биологических препаратов на яровой ячмень сорта Биос-1 : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пенза, 2004. 18 с.

6. Изергин С. Н., Дудин Г. П., Черемисинов М. В. Морфофизиологические изменения и хлорофилльные мутации ярового ячменя, полученные под влиянием протравителей семян // Науче нового века – знания молодых : сб. статей 8-й науч. конф. аспирантов и соискателей. Киров : Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. С. 29–31.

7. Черемисинов М. В., Дудин Г. П. Мутагенное действие химических и биологических препаратов на ячмень сорта Биос-1 // Материалы научной сессии КФ РАЕ и КОО РАЕН. Киров, 2004. С. 294–295.

8. Черемисинов М. В. Изменение маркерного *waхu*-гена ячменя под влиянием фунгицидов-протравителей семян и биологических препаратов // 60 лет высшему аграрному образованию Северо-Востока Нечерноземья : материалы I Всерос. науч.-практ. конф. Киров, 2004. С. 124–126.

9. Черемисинов М. В., Помелов А. В. Выявление мутагенного эффекта фунгицидов при обработке семян ячменя методом протравливания // Экология родного края: проблемы и пути решения : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Изд-во ООО Радуга-ПРЕСС, 2016. С. 324–328.

10. Оптимизация микробиологического состава биопрепарата при выращивании лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) / Л. И. Домрачева, Д. В. Козылбаева, А. Л. Ковина, Л. В. Трефилова, Ю. Н. Зыкова, М. Н. Грипась, В. А. Изотова // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 94–101. doi: 10.25750/1995-4301-2019-1-094-101

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ СЕМЯН С БИОПРЕПАРАТОМ ПРОТИВ КОРНЕВЫХ ГНИЛЕЙ НА ЯЧМЕНЕ

М. В. Черемисинов

*Вятский государственный агротехнологический университет,
cheremisinov.mv@yandex.ru*

В статье предоставлен опыт по изучению химических протравителей семян совместно с биопрепаратом. Показано влияние совместной обработки препаратами на корневые гнили. Активнее остальных предотвратил развитие корневых гнилей тебузил + псевдобактерин, распространение гнилей составило 17,3%.

Ключевые слова: протравители семян, тебузил, триактив, корневые гнили, полевая всхожесть семян, псевдобактерин, ячмень Изумруд.

На кафедре биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятского ГАТУ ранее проведенными исследованиями установлена высокая биологическая эффективность химических протравителей семян, но наряду с прямым действием на патогенную микрофлору химические препараты могут обладать побочным мутагенным действием [1–10]. Объектом для

исследований выбран яровой ячмень сорта Изумруд. Опыты проводили на учебно-опытном поле Агротехнопарка Вятского ГАТУ.

На семена ячменя воздействовали следующими фунгицидами-протравителями: тебузил, триактив, анкер Трио, грандсил Ультра и биопрепаратом псевдобактерин. Агротехника в опыте общепринята для ярового ячменя. Размещение деленок систематическое, учетная площадь – 4,5 м², повторность 4-х кратная. Норма высева – 5 млн. всхожих семян на 1 га.

Семена обрабатывали в день посева в соответствии с вариантами опыта, приведенными в таблице 1. Обработку семян препаратами проводили за один день до посева с увлажнением. Расход рабочей жидкости приготовленного рабочего раствора 10 л/т.

Таблица 1

Схема опыта

№	Вариант
1	Контроль (обработка водой 10 л/т)
2	Тебузил +псевдобактерин (0,4+0,004л/т)
3	Триактив + псевдобактерин (1+0,004л/га)
4	Анкер Трио + псевдобактерин (0,5+0,004 л/т)
5	Грандсил Ультра + псевдобактерин (0,5+0,004 л/т)

В ходе полевого опыта определяли развитие и распространенность корневых гнилей. Учет полевой всхожести семян в год изучения показал, что предпосевная обработка семян способствует увеличению количества всходов на 4,8%. Наибольшая полевая всхожесть отмечалась в вариантах: грандсил Ультра + псевдобактерин – 92,2%; триактив + псевдобактерин – 88,2%; чуть менее эффективным оказалось сочетание препаратов тебузил + псевдобактерин 85,8%. Препарат анкер Трио в сочетании с псевдобактерином оказал слабое стимулирующее действие на энергию прорастания – полевая всхожесть 85%. Наибольший процент выживших растений был зафиксирован в вариантах грандсил Ультра + псевдобактерин – 97,4%; триактив + псевдобактерин – 94,3% и тебузил + псевдобактерин – 93,7%. Малоэффективным оказалось сочетание анкер Трио + псевдобактерин с показателем выживаемости 89,9% соответственно. На основании результатов наблюдений можно сделать вывод, что совместная обработка семян ячменя препаратами оказывает положительное влияние на полевую всхожесть семян и выживаемость растений. На основании полученных данных видно, что препараты способствовали сдерживанию развития корневых гнилей ячменя особенно в ранние фазы развития растений.

Фунгицидное действие в наибольшей мере проявилось под действием сочетания триактив + псевдобактерин в фазу кущения – 3,2%. Слабое защитное действие проявилось у препаратов тебузил + псевдобактерин – 3,8%, развитие болезни было наибольшим (табл. 2).

Таблица 2

Распространение корневых гнилей в период вегетации, %

Варианты	Конец кущения	Выход в трубку	Молочная спелость	Полная спелость
Контроль (обработка водой 10 л/т)	14,6	29,4	39,1	82,0
Тебузил + псевдобактерин	3,8	4,7	17,3	51,2
Триактив + псевдобактерин	3,2	5,2	21,2	43,2
АнкерТрио + псевдобактерин	3,7	6,8	24,2	44,4
Грандсил Ультра + псевдобактерин	3,6	5,2	25,3	45,8
НСР ₀₅	20,1	24,5	22,2	37,5

Начиная с фазы молочной спелости, произошло резкое нарастание корневых гнилей в 2 раза в связи с благоприятными условиями для развития патогенной микрофлоры. В фазу выхода в трубку распространение болезни в вариантах триактив + псевдобактерин и грандсил Ультра + псевдобактерин было наименьшим и составило 5,2% соответственно. В контроле развитие болезни составило 29,4%. Слабее защитное действие препараты проявили в фазу молочной спелости. Активнее остальных предотвратил развитие корневых гнилей тебузил + псевдобактерин, распространение гнилей составило 17,3%.

Таким образом, наибольшая полевая всхожесть отмечена при обработке препаратами грандсил Ультра + псевдобактерин, триактив + псевдобактерин, чуть менее эффективным оказалось сочетание препаратов тебузил + псевдобактерин. Совместная обработка семян ячменя препаратами оказывает положительное влияние на полевую всхожесть и выживаемость растений. Препараты способствовали сдерживанию развития корневых гнилей ячменя особенно в ранние фазы развития растений. Фунгицидное действие в наибольшей мере проявилось под действием препарата триактив в сочетании с биопрепаратом псевдобактерин. В целях защиты ячменя от корневых гнилей целесообразно проводить предпосевную обработку семян протравителем тебузил + псевдобактерин.

Библиографический список

1. Черемисинов М. В., Тагакова Л. А. Мутационное и защитное влияние протравителей семян на растения ячменя сорта Нур в третьем поколении // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем : материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Изд-во ООО Веси, 2015. С. 113–116.
2. Мутационная и модификационная изменчивость растений ячменя под действием гербицидов и фунгицидов во втором поколении / Г. П. Дудин, М. В. Черемисинов, А. В. Помелов и др. // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Киров : ФАНЦ Северо-Востока, 2018. С. 86–90.
3. Черемисинов М. В. Способы борьбы с короедом // Знания молодых: наука, практика, инновации : сб. науч. трудов междунар. науч.-практ. конф. аспирантов и молодых ученых. Киров : Вятская ГСХА, 2014. С. 96–98.
4. Черемисинов М. В., Емелев С. А. Влияние регуляторов роста и протравителей семян на площадь листьев ячменя // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. (к 125-летию Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого). Киров, 2020. С. 244–246.

5. Черемисинов М. В. Мутагенное действие химических и биологических препаратов на яровой ячмень сорта Биос-1 : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пенза, 2004. 18 с.

6. Изергин С. Н., Дудин Г. П., Черемисинов М. В. Морфофизиологические изменения и хлорофилльные мутации ярового ячменя, полученные под влиянием протравителей семян // Науче нового века – знания молодых : сб. статей 8-й науч. конф. аспирантов и соискателей. Киров : Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. С. 29–31.

7. Черемисинов М. В., Дудин Г. П. Мутагенное действие химических и биологических препаратов на ячмень сорта Биос-1 // Материалы научной сессии КФ РАЕ и КОО РАЕН. Киров, 2004. С. 294–295.

8. Черемисинов М. В. Изменение маркерного *waхu*-гена ячменя под влиянием фунгицидов-протравителей семян и биологических препаратов // 60 лет высшему аграрному образованию Северо-Востока Нечерноземья : материалы I Всерос. науч.-практ. конф. Киров, 2004. С. 124–126.

9. Черемисинов М. В., Помелов А. В. Выявление мутагенного эффекта фунгицидов при обработке семян ячменя методом протравливания // Экология родного края: проблемы и пути решения : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Изд-во ООО Радуга-ПРЕСС, 2016. С. 324–328.

10. Оптимизация микробиологического состава биопрепарата при выращивании лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) / Л. И. Домрачева, Д. В. Козылбаева, А. Л. Ковина, Л. В. Трефилова, Ю. Н. Зыкова, М. Н. Грипась, В. А. Изотова // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 94–101. doi: 10.25750/1995-4301-2019-1-094-101

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ РОДНИК ПРИКАМЬЯ

С. А. Емелев

*Вятский государственный агротехнологический университет,
k-selex@vgsha.info*

В статье представлен опыт применения биологических препаратов на основе живых клеток микроорганизмов в качестве регуляторов развития ярового ячменя. Определены эффективные препараты, повышающие урожайность ячменя и не вызывающие химического загрязнения.

Ключевые слова: биопрепарат, 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 в дозах, превышающих нормы.

Во всем мире, в том числе и в России, в последнее время значительно вырос интерес к проблемам микробиологии в сельском хозяйстве. Особое внимание привлекают биопрепараты полифункционального действия. Основой микробиологических препаратов служат живые культуры, отселектиро-

ванных по полезным свойствам микроорганизмов, и продукты их метаболизма. Такие препараты позволяют создать огромную концентрацию полезных форм микроорганизмов (в грамме препарата содержится до 1–5 млрд клеток бактерий) в нужном месте и в нужное время. За счет этого внесенные формы могут успешно конкурировать с аборигенной микрофлорой и захватывать экологические ниши, предоставляемые им растением [1, 2].

На кафедре биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ выявлено мутагенное [2–7], росторегулирующее и фунгицидное действие на ячмене биопрепаратов на основе ризосферных бактерий из родов *Azotobacter*, *Pseudomonas* и *Bacillus* [5, 7, 8], цианобактерий [7] и недостаточно изучено влияние на растения ячменя микробиологических жидких удобрений на основе микроорганизмов из родов *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Paenibacillus*.

В биологической лаборатории филиала Россельхозцентра по Кировской области в настоящее время выпускаются микробиологические препараты: азолен, Ж (*Azotobacter vinelandii* штамм ИБ-4), псевдобактерин-2, ж (*Pseudomonas aureofaciens* BS 1393), флавобактерин (*Flavobacterium fulvum*), НитроЗлак (*Bacillus megaterium*) в жидкой форме и органо-минеральное удобрение гумат+7 (60–65% гуматов и 7 микроэлементов – Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Co, B [9].

Компания «Промышленные Инновации» (г. Новомосковск, Тульская область) производит микробиологические удобрения азотовит (*Beijerinckia fluminensis* Bf 28069), фосфатовит и калийвит (*Paenibacillus mucilaginosus* Pm 2906) в жидкой форме [10].

Цель исследования – изучить влияние микробиологических препаратов в жидкой препаративной форме на рост и развитие растений, урожайность ярового ячменя.

Полевые исследования проводили на яровом ячмене сорта Родник Прикамья. Семена обрабатывали в день посева в соответствии с вариантами опыта, приведенными в таблице 1. Концентрация препаратов взята из расчета 1 л/т при наиболее распространенных значениях титра препаратов поступающих в продажу: азолен, Ж (титр $(4-8) \cdot 10^9$ кл./мл); псевдобактерин-2, ж (титр $2 \cdot 10^9$ кл./мл); флавобактерин (титр $(2-4) \cdot 10^9$ кл./мл); нитроЗлак (титр $2 \cdot 10^9$ кл./мл); азотовит (титр $5 \cdot 10^9$ кл./мл); фосфатовит (титр $0,12 \cdot 10^9$ кл./мл); калийвит (титр $0,12 \cdot 10^9$ кл./мл).

Расход рабочей жидкости 20 л/т семян. В контрольном варианте семена ячменя сорта Родник Прикамья обрабатывали водой из расчета 20 л/т ($K_{сз}$ – контроль семена замоченные).

Сорт Родник Прикамья, созданный в ГУ Зональный НИИСХ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого (ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) и Пермский НИИСХ, является одним из самых востребованных и распространенных в посевах ярового ячменя в Кировской области. Включен в список ценных по качеству сортов.

Полевые эксперименты проводили в 2022 году на опытном поле Агро-технопарка Вятского ГАТУ. Почвы участка, на котором были исследования, дерново-подзолистые среднесуглинистые.

В каждом варианте обрабатывали и высевали из расчета нормы посева ярового ячменя 5 млн. всхожих семян на га. Варианты размещали 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 показатели: густота стояния и выживаемость 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 [11].

Результаты исследований показали, что изучаемые препараты оказали стимулирующее действие на полевую всхожесть семян и выживаемость растений сорта Родник Прикамья (табл. 1). При этом достоверное увеличение полевой всхожести семян по сравнению с контролем отмечено в вариантах с НитроЗлак, гумат +7, калийвит (+6,2...7,2%). Наибольшее значение данного показателя у ячменя Родник Прикамья отмечено под влиянием препарата калийвит – 86,8%.

Таблица 1

Показатели опыта на сорте Родник Прикамья

Вариант	Полевая всхожесть семян				Выживаемость растений			
	шт./м ²	±	%	± к контролю	шт./м ²	±	%	± к контролю
Контроль с.з. (К _{сз})	405	0	81,0	100,0	311	0	76,8	100,0
Азолен, Ж	414	9	82,8	102,2	317	6	76,6	99,7
Псевдобактерин-2, ж	402	-3	80,4	99,3	333	22	82,8	107,9
Флавобактерин	423	18	84,6	104,4	364	53	86,1	112,1
НитроЗлак	432	27	86,4	106,7	351	40	81,3	105,8
Гумат +7	430	25	86,0	106,2	334	23	77,7	101,2
Азотовит	417	12	83,4	103,0	329	18	78,9	102,7
Фосфатовит	410	5	82,0	101,2	360	49	87,8	114,3
Калийвит	434	29	86,8	107,2	373	62	85,9	111,9
НСР _{0,95}		25,2				22,2		

Реакция на выживаемость растений сорта Родник Прикамья несколько отличалась от полевой всхожести. Достоверное увеличение значения этого показателя по сравнению с контролем наблюдалось в большинстве вариантов опыта. Наибольшая выживаемость растений была отмечена под влиянием препарата фосфатовита – 85,9%.

Изучение элементов структуры продуктивности растений ярового ячменя сорта Родник Прикамья показало: общая и продуктивная кустистость растений достоверно ниже контроля отмечалась под действием почти всех биопрепаратов (табл. 2). Только азолен, Ж оказал очень слабое стимулирующее влияние на кустистость.

Таблица 2

Характеристика элементов структуры продуктивности растений ячменя

Вариант опыта	Показатели						
	кустистость		длина		количество		масса зерна
	общая	продуктивная	стебля	коло-са	колосков	зерен	
Контроль с.з. (К _{сз})	1,8	1,6	48,5	7,3	19,3	18,7	0,83
Азолен, Ж	1,8	1,8	54,3***	6,8	19,5	18,7	0,84
Псевдобактерин-2, ж	1,5*	1,4	53,5***	7,6	18,8	18,7	0,85
Флавобактерин	1,3***	1,2**	53,1**	7,2	21,9***	19,9	0,91
НитроЗлак	1,5*	1,3*	53,5***	7,8*	19,6	19,3	0,91
Гумат +7	1,9	1,5	52,1*	8,0*	20,5	19,8	1,06** *
Азотовит	1,4*	1,4	51,2	6,5**	19,0	18,1	0,83
Фосфатовит	1,2***	1,2**	50,7	6,5**	22,3***	20,9*	0,83
Калийвит	1,2***	1,1***	51,4*	7,3	19,5	18,8	0,85

Примечание: различия достоверны при уровне вероятности: * – $P > 0,95$; ** – $P > 0,99$; *** – $P > 0,999$.

По показателю «длина стебля» наблюдается обратная картина: все препараты привели к существенной стимуляции длины стебля растений ярового ячменя до 51,4...54,3 см, по сравнению с контролем (48,5 см).

Достоверное увеличение длины колоса на 0,5...0,8 см отмечено при использовании НитроЗлак и гумат +7.

Показатели «число колосков в колосе», «число зерен в колосе» и «масса зерна с колоса» в целом зависимы от «длины колоса»: по ним наблюдается корреляция данных. Существенное увеличение числа колосков и зерен в колосе выявлено при обработке семян флавобактерином и фосфатовитом.

Достоверное отклонение по «массе зерна с колоса» наблюдалось только под влиянием гумат +7 – 1,06 г (у контроля 0,83 г). Остальные биопрепараты 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 [8]. 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 биопрепаратов обладают стимулирующим эффектом на растения ярового ячменя сорта Родник Прикамья. Наиболее выраженные положительные значения получены под влиянием азолен, Ж и нитроЗлак – 2,7 и 3,7%, соответственно (рис.).

Препараты компании «Промышленные Инновации» азотовит, фосфатовит, калийвит обладают слабым совокупным депрессивным влиянием на признаки (– 0,5...2,0%).

Использование почти всех биопрепаратов увеличивает полевую всхожесть семян и выживаемость растений ячменя. На сорте Родник Прикамья рекомендуется отдавать предпочтение наравне органо-минеральным препаратом гумат+7 с биопрепаратами: нитроЗлак; флавобактерин; азолен, Ж (средняя стимуляция около 3,0%), так как они способствуют на начальных этапах развития лучшему формированию растений (рост надземной системы), что способствует формированию большего урожая ячменя.

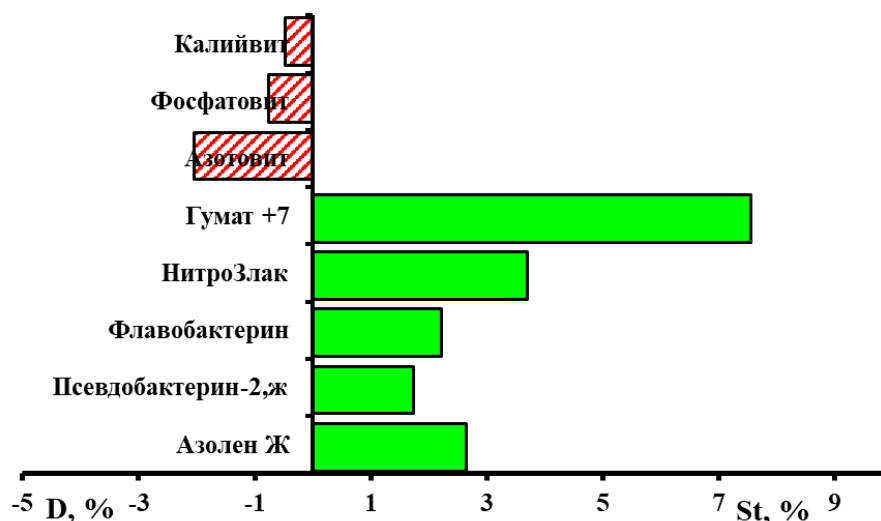


Рис. Депрессия – стимуляция развития ячменя Родник Прикамья

Применение большинства биопрепаратов положительно сказывается на развитии компонентов структуры продуктивности ярового ячменя Родник Прикамья; наиболее значимую прибавку к увеличению значений компонентов структуры урожайности дают препарат гумат+7 (+7,6%) и азолен, Ж (+2,0%).

Для получения высокой урожайности и снижения химической нагрузки необходимо использовать биопрепараты, но и их большая эффективность в современном сельском хозяйстве проявляется на фоне полных доз минеральных удобрений, рекомендованных для данной культуры в зоне возделывания.

Библиографический список

1. Завалин А. А. Применение биопрепаратов при возделывании полевых культур // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 9–11.
2. Биопрепараты в сельском хозяйстве (Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве) / И. А. Тихонович, А. П. Кожемя-

ков, В. К. Чеботарь, Ю. В. Круглов, Н. В. Кандыбин, Г. Ю. Лаптев. М. : Россельхозакадемия, 2005. 154 с.

3. 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 сельскохозяйственной академии. Ижевск : Шеп, 1999. С. 17–18.

4. Емелев С. А. Создание исходного материала для селекции ярового ячменя под действием мочевины, лазерного излучения и дальнего красного света : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.05. Киров, 2008. 18 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., Емелев С. А. Патент 2166847 Российская Федерация, МКИ⁷ А 01 С 1/00, С 12 N 15/01. Способ мутагенной обработки семян зерновых культур: № 99115369/13 : заявл. от 12.07.1999 : опубл. б.и. № 14 от 20.05.2001 RU. 14 с.

7. Емелев С. А., Помелов А. В., Новоселов А. В. Влияние микробиологических препаратов на развитие ярового ячменя сорта Нур // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием . в 2 кн. Киров : Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. Кн.1. С. 179–183.

8. Оптимизация микробиологического состава биопрепарата при выращивании лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) / Л. И. Домрачева, Д. В. Козылбаева, А. Л. Ковина, Л. В. Трефилова, Ю. Н. Зыкова, М. Н. Грипась, В. А. Изотова // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 94–101. doi: 10.25750/1995-4301-2019-1-094-101

9. Информационный листок Россельхозцентра № 11/2020 г Исх.№ 1070 от 19.10.2020 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosselhoccenter.com/index.php/otdel-zashchity-rastenij-15> (дата обращения: 30.10.2022).

10. Промышленные инновации. Микробиологическое удобрение Азотовит / Фосфатовит [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.industrial-innovations.ru/products> (дата обращения: 31.10.2022).

11. Основы научных исследований в агрономии / В. Ф. Моисейченко, М. В. Трифонова, А. Х. Заверюха и др. М. : Колос, 1996. 336 с.

СЕКЦИЯ 6

ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ СПОСОБ ПРОФИЛАКТИКИ ВОСПАЛЕНИЯ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ КОРОВ

А. В. Арасланова, И. Г. Конопельцев

*Вятский государственный агротехнологический университет,
anastasiya.shubina@list.ru*

В статье представлен опыт применения препарата Интрасан в качестве профилактики воспаления молочной железы крупного рогатого скота без использования антибиотиков.

Ключевые слова: коровы, мастит, профилактика, интрасан, антибиотики.

Особое место в структуре незаразных болезней у коров молочных пород принадлежит патологии вымени и особенно его воспалению, которое регистрируется у животных во все периоды года и физиологические периоды.

Для лечения и профилактики мастита коров широко применяются антимикробные препараты – антибиотики. Неконтролируемое и частое использование данных препаратов может оказывать воздействие на окружающую среду и человека [1, 2]. Молочные продукты, содержащие остаточные антибиотики представляют опасность для людей. Несоблюдение ветеринарных требований по применению антибиотиков приводит к их накоплению в продуктах животноводства. При регулярном употреблении таких продуктов происходит распространение устойчивых видов микроорганизмов в организме и возникает вероятность появления бактерий высокой вирулентности и патогенности. Антибактериальные препараты также могут оказывать токсическое воздействие на организм, вызывать аллергическую реакцию, изменять кишечную микрофлору, способствуя развитию дизбактериоза [3]. Кроме того, в следствии неконтролируемого использования антибиотиков в животноводстве, их часто обнаруживают в грунтовой и питьевой воде, сточных водах и сельскохозяйственных почвах. Антибактериальные препараты, широко распространенные в окружающей среде, затрагивают как водные, так и наземные организмы, изменяют активность и состав почвенных микроорганизмов и приводят к развитию бактериальной устойчивости у микроорганизмов [4]. Антибиотики выводятся из организма животных практически в неизменном виде. Сточные воды, содержащие остатки препаратов, образуются на ското-

бойнях, животноводческих помещениях, и молочных фермах и попадают на очистные сооружения. Шлам, образующийся на очистных сооружениях, также содержит остатки антибиотиков и вывозится на свалки или используется на сельскохозяйственных землях. В целом, происходит круговорот антибиотиков в среде обитания, включая почвы, природные воды и технологические циклы очистки сточных вод, выращивания сельскохозяйственной продукции [5].

Ввиду наличия большого количества противопоказаний у антибиотиков в настоящий момент в медицине и ветеринарии перспективным считается направление использования таких методов и средств терапии и профилактики болезней животных, которые обладают высокой эффективностью, не оказывают отрицательного влияния на макроорганизм и являются экологически безопасными [1, 6].

При сложившихся условиях вполне закономерен интерес к использованию новых, эффективных, без отрицательных побочных влияний, экологически чистых методов терапии и профилактики мастита. В ЗАО «НПП «Фармакс» для лечения маститов разработан лекарственный препарат интрасан для наружного применения. В нем нет антибиотиков и гормонов. Высокую эффективность интрасана обеспечивают входящие в состав действующие вещества – диметилсульфоксид и калия йодид, которые давно известны и широко применяются в медицине и ветеринарии. Действующие вещества в препарате находятся в комплексе «диметилсульфоксид - калия йодид».

Нами проведен научно-производственный опыт по изучению эффективности профилактики мастита в сухостойный и послеродовый периоды с использованием интрасана проводили на высокопродуктивных (7,5 ...10 тыс. кг) коровах черно-пестрой голштинизированной породы. Исследования провели в АО «Агрофирма «Дороничи» отделение Пасегово. В части эксперимента воспользовались возможностями лабораторного оборудования кафедры терапии, хирургии, акушерства и заразных болезней ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ.

Коров перед запуском, которые переболели клинической формой мастита в лактацию, по принципу аналогов разделили на две группы – подопытную и контрольную (n=25). В подопытной группе находились животные, которых подвергали обработкам линиментом интрасан (по 30,0 г) через 10 дней после запуска, за 15 дней до отела и через 10 дней после отела. В контрольной группе находились коровы, которые остались без обработки. Линимент интрасан в указанные периоды функционального состояния вымени наносили на чистую кожу доли ровным тонким слоем, слегка втирая. На протяжении опыта с интервалом 7 дней у животных оценивали общее состояние, проводили осмотр. Через 10 дней после отела из четвертой вымени, переболевших в лактацию животных экспериментальных групп, отбирали молоко для оценки количества соматических клеток (СК) с помощью прибора Соматос-Мини и 3,5%-ного раствора мастоприма.

Информация о реинфекции в периоды запуска, сухостоя и после отела, без использования профилактических фармакологических средств и при

3-кратной обработке в эти функциональные периоды молочной железы интрасаном представлена в таблице 1.

Таблица 1

Эффективность назначения интрасана в сухостойный и послеродовой периоды при профилактике мастита у переболевших коров в лактацию

Показатель	Интрасан	Без обработки
Количество обработанных коров/долей	25/45	25/44
Заболело маститом, коров/%	7/28,0	16/64,0
Возобновилось воспаление в долях вымени (%)	14 (31,1)	33 (75,0)
Не проявилось рецидива болезни в сухостойный и послеродовой периоды у коров, (кол-во/%)	18/72,0	9/36,0
Не проявилось рецидива болезни в сухостойный и послеродовой периоды в долях вымени, кол-во/%	31 (68,9)	11 (25,0)

Из представленных цифровых показателей анализа случаев реинфекции у коров (таблица 1) в сухостой и в послеродовой периоды без профилактических мер, которые переболели маститом в лактационный период, обуславливает повторное обострение процесса у 64% животных и в 75% долей вымени. Накожное нанесение интрасана, на площади переболевших четвертей вымени, в начале запуска, сухостоя и послеродового периода обеспечивает ремиссию болезни у 72% коров и в 68,9% долях молочной железы. Трехкратное применение линимента интрасана с целью профилактики мастита на 43,9% снижает риск его возникновения в сухостойный и послеродовой периоды у животных с анамнезом воспаления вымени в лактацию.

Таблица 2

**Количество соматических клеток в молоке
не заболевших маститом коров**

Показатель	Количество соматических клеток, тыс./мл
Интрасан	296,6±25,5
Без обработки	687,3±76,3

В приведенных данных таблицы 2 наблюдается наименьшее значение соматических клеток в молоке не заболевших маститом коров через 15 дней после отела на фоне применения интрасана ($296,6 \pm 25,5$ тыс./мл), что на 56% ниже, чем у группы без обработки ($687,3 \pm 76,3$ тыс./мл).

Проведенное исследование показало, что использование интрасана в качестве средства для профилактики мастита в сухостойный и лактационный периоды имело положительный эффект (72%). Был получен и низкий показатель соматических клеток ($296,6 \pm 25,5$) в секрете молочной железы на 15-й день после отела. Полученные результаты доказывают, что использование интрасана в сухостойный период оказывает высокий профилактический эффект (72%) в отношении мастита у коров как в сухостое, так и в последующем, после наступления лактации.

Библиографический список

1. Конопельцев И. Г., Шулятьев В. Н. Воспаление вымени у коров. Киров – СПб. : Вятская ГСХА, Изд-во СПбГАВМ, 2010. 355 с.
2. Влияние поллютантов на распространение генов устойчивости к антибиотикам в окружающей среде / Т. Н. Ажогина, С. Г. Скугорева, А. А. К. Аль-Раммахи, Н. В. Гненная, М. А. Сазыкина, И. С. Сазыкин // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 6–14. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-006-014
3. Зайнуллина А. Р., Петухова Е. В., Яковлева Г. Ю. Создание микробиологического экспресс-метода определения антибиотиков в молоке // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20, № 21. С. 119–122.
4. Экологические последствия загрязнения почв антибиотиками / Ю. В. Акименко, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, М. С. Мазанко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 3. С. 1196–1199.
5. Тимофеева С. С., Гудилова О. С. Антибиотики в окружающей среде: состояние и проблемы // XXI век. Техносферная безопасность. 2021. Т. 6, № 3. С. 251–265.
6. Конопельцев И. Г., Шубина А. В., Николаев С. В. Влияние на молочную железу и организм коров препарата с пенетрирующими свойствами для профилактики мастита // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2020. № 1. С. 226–230.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАЗМЕРОВ ЖУЖЕЛИЦЫ *PTEROSTICHUS OBLONGOPUNCTATUS* FABRICIUS (COLEOPTERA, CARABIDAE) В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ГРАДИЕНТАХ

*Д. И. Ахметова*¹, *Н. Л. Ухова*², *В. В. Алексанов*³, *И. Г. Воробьева*⁴,

*Т. Л. Ананина*⁵, *Т. М. Теофилова*⁶, *Р. А. Суходольская*⁷

¹ Гимназия № 28 г. Казани, *dddiiiaaannpaaaaa@gmail.com*

² Висимский государственный заповедник, *ikh08@yandex.ru*

³ ГБУ Калужской области «Дирекция парков», *victor_alex@list.ru*

⁴ Марийский государственный университет, *vigir@mail.ru*

⁵ ФГБУ «Заповедное Подлеморье», *t.l.ananina@mail.ru*

⁶ Институт биоразнообразия и экосистемных исследований

Академии наук Болгарии,

⁷ Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,

ra5suh@rambler.ru

В рамках кларификации правила Бергманна исследована изменчивость размеров надкрылий у жуков, отловленных в разных частях ареала – Бурятии, Калужской и Свердловской областях, Республике Марий Эл, Болгарии. При ранжировании материала в широтном и долготном градиентах показано, что кривая изменчивости размеров пилообразна (saw-tooth). Наклон кривой регрессии близок к нулю, хотя различия в размерах жуков, обитающих в соседствующих регионах статистически значимы.

Ключевые слова: изменчивость размеров, широтно-долготный градиент, жужелицы, правило Бергманна, регрессионный анализ, морфометрическая изменчивость.

Настоящая публикация является вкладом в реализацию проекта «Изменчивость размеров жуков – жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в градиентах среды». Проект представлен на Research Gates и постоянно пополняется новыми данными. Ранее в рамках этого проекта уже были получены результаты по изменчивости размеров жужелиц в широтном градиенте. В частности, жуки рода *Carabus* демонстрируют обратное правило Бергманна – их размеры уменьшаются по направлению к высоким широтам. Для жуков рода *Pterostichus* (*Pterostichus melanarius* Ill.) была получена пилообразная (saw-tooth) кривая: размеры всех шести исследованных признаков значительно различаются в соседствующих по широте регионах, однако в целом наклон кривой регрессии близится к нулю. Последнее означает, что монотонного уменьшения размеров в широтном и долготном градиентах у этого вида не наблюдается [1]. В отношении исследуемого вида – *P. oblongopunctatus* – также были выполнены аналогичные исследования с привлечением выборок из шести регионов России. Перепады в величине размеров были не так значимы, но общий тренд на неизменность размеров в широтном градиенте сохранился [2]. В данном сообщении исследования *P. oblongopunctatus* дополнены выборками из новых регионов. Таким образом, цель исследования – оценка изменчивости размеров *P. oblongopunctatus* в широтно-долготном градиентах.

Материал и методика. Выборки жужелицы *P. oblongopunctatus* были получены от специалистов-карабидологов из пяти различных достаточно удаленных друг от друга регионов: Болгария (42°32' с. ш., 25°02' в. д., берег р. Turiyska, влажная поляна с дубом и кизилом), Висимский заповедник (57°18' с. ш., 59°55' в. д., почвенно-зоологические площадки в зарастающем пихтарнике), Бурятия (Баргузинский хребет, среднегорье, осинник, пихтарник), Калужская область (дер. Караваинки, широколиственный лес), заповедник Большая Кокшага 56°40' с. ш. 47°16' в. д., сосняк). Проведены промеры длины надкрылий. Общая выборка при морфометрическом анализе составила 1180 особей.

Результаты и обсуждение. Мы ранжировали выборки по широтному градиенту и выяснили, что кривая изменчивости размеров надкрылий пилообразна: длина надкрылий достоверно уменьшается в Калужской области по сравнению с более южной Болгарией, затем снова достоверно увеличивается у жуков в Баргузинском заповеднике и Большой Кокшаге, а севернее – в Висимском заповеднике – снова достоверно уменьшается. Наклон кривой регрессии составляет 0,015, что говорит в пользу того, что широтный тренд изменчивости длины надкрылий в данной выборке *P. oblongopunctatus* отсутствует. Полученные данные дополняют и подтверждают картину изменчивости морфометрических признаков у представителей рода *Pterostichus* в географических градиентах.

Пределы и характер изменчивости размеров жужелиц может определяться многими факторами. В грубом разрешении и в широких пространственных масштабах важными переменными, влияющими на размеры тела,

считаются климатические. Однако некоторые авторы утверждают, что в ряде случаев определяющими бывают такие переменные, как вегетационное покрытие и взаимодействие с сосуществующими видами.

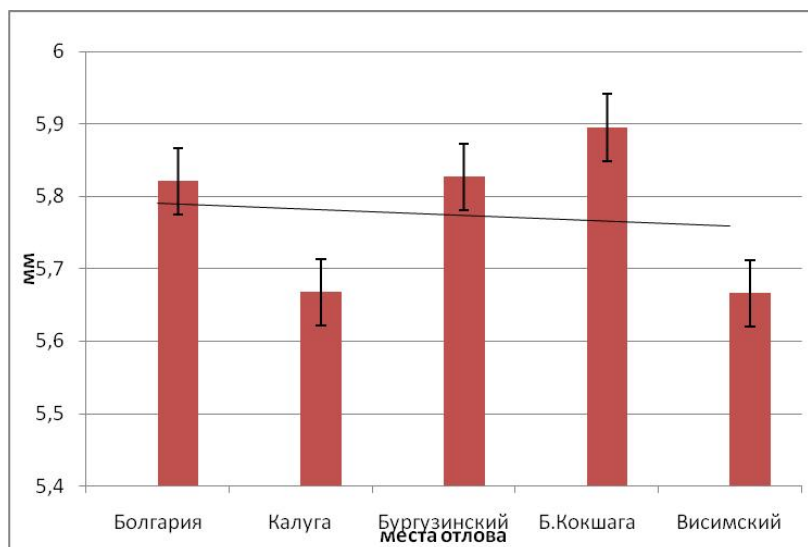


Рис. Изменчивость длины надкрылий в популяциях *P. oblongopunctatus*

В нашем случае мы склонны объяснять характер кривой изменчивости размеров у исследуемого вида как комплексом условий внешней среды, который уникален для каждого локалитета, так и возможной сменой жизненного цикла у особей *P. oblongopunctatus* в широтном градиенте.

Библиографический список

1. Modeling Sexual Differences of Body Size Variation in Ground Beetles in Geographical Gradients: A Case Study of *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) (Coleoptera, Carabidae) / S. L. Luzyanin, A. A. Saveliev, N. L. Ukhova, I. G. Vorobyova, I. A. Solodovnikov, A. L. Anciferov, R. R. Shagidullin, T. M. Teofilova, S. N. Nogovitsyna, V. V. Brygadyrenko // Life. 2022. No. 12. P. 112. doi.org/10.3390/life12010112
2. Modeling sexual differences of body size variation in ground beetles in geographical gradient (The case study in *Pterostichus oblongopunctatus* Fabricius, 1787 / R. A. Sukhodolskaya, A. A. Saveliev, N. L. Ukhova, I. G. Vorobyova, I. A. Solodovnikov, A. L. Anciferov, T. A. Gordienko, R. R. Shagidullin, D. N. Vavilov // GSC Biological and Pharmaceutical Sciences. 2020. No. 13(03). P. 149–161. doi.org/10.30574/gscbps.2020.13.3.0388

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ «ОЗЕРО ГУСИНЕЦ»

П. В. Бедова

Марийский государственный университет, bedova@marsu.ru

Проведены исследования на территории ООПТ памятника природы «Озеро Гусинец». Фауна беспозвоночных животных озера Гусинец насчитывает 37 видов, относящихся к 4 типам, 8 классам, 13 отрядам, 29 семействам и 33 родам. Максимальную долю в видовом составе составляли представители

класса Насекомые (51,4%). Доминантами по встречаемости в озере Гусинец являются водные клещи *Limnochares aquatica*, их частота встречаемости составила 86%. По значениям информационных индексов макрозообентосное сообщество озера является малоустойчивым и по численности и по биомассе. Индекс ББИ показал, что водоем испытывает легкое влияние стоков. По значению индекса Пантле-Букка в озере Гусинец α -мезосапробные воды.

Ключевые слова: памятник природы, фауна, макрозообентос, озеро, беспозвоночные животные, численность, биомасса, сапробность, информационные индексы.

Памятник природы республиканского значения «Озеро Гусинец» образован 09.03.1994 г., находится в Юринском районе Республики Марий Эл. Площадь озера 8,1 га. Размеры примерно 600 на 250 метров (рис.). В Юринском районе ранее были изучены текущие [1] и стоячие водоемы [2, 3]. По озеру Гусинец имеются лишь отрывочные сведения [4].

Отбор гидробиологического материала проводили в летний период 2022 г. Сбор и обработку осуществляли по стандартным методикам [5–7].



Рис. Месторасположение станций отбора гидробиологических проб на озере Гусинец

Оценку санитарно-гидробиологического состояния водоема проводили на основании данных, полученных при расчете информационных индексов: видового разнообразия Шеннона, индекса доминирования Симпсона. Применяли компьютерный вариант расчета Бельгийского биотического индекса (ББИ) [6].

Для оценки уровня органического загрязнения водоемов использовали модифицированный индекс сапробности Пантле-Букка для качественных данных водоемов центра Европейской России [7].

Фауна беспозвоночных животных озера Гусинец насчитывает 37 видов, относящихся к 4 типам, 8 классам, 13 отрядам, 29 семействам и 33 родам. Количество видов основных таксономических групп показано в таблице 1.

Таблица 1

Таксономическое разнообразие беспозвоночных животных озера Гусинец

Таксономическая группа	Количество видов	% от общего видового состава
Ресничные черви	1	2,7%
Малощетинковые черви	2	5,4%
Пиявки	2	5,4%
Ракообразные	1	2,7%
Насекомые	19	51,4%
Паукообразные	4	10,8%
Двустворчатые моллюски	2	5,4%
Брюхоногие моллюски	6	16,2%

Максимальную долю в видовом составе (19 видов) имеют представители класса Насекомые (51,4%). При этом представители отряда Двукрылые составляют 42,1% от общего видового состава насекомых. Представители отряда Жесткокрылые – 26,3%, представители отрядов Стрекозы и Клопы – 21,1% и 10,5% соответственно.

Доминантами по частоте встречаемости в озере Гусинец зарегистрированы водные клещи *Limnochares aquatica* (Linnaeus, 1758), их частота встречаемости составила 86%.

Довольно часто в озере Гусинец встречаются следующие виды беспозвоночных: малая ложноконская пиявка *Erpobdella octoculata* (Linnaeus, 1758) – 71%; водяной ослик *Asellus aquaticus* (Linnaeus, 1758) – 57%; личинки комаров *Chironomus plumosus* (Linnaeus, 1758) – 43%.

Для количественного учета донных беспозвоночных, нами собран гидробиологический материал на семи станциях (рис.).

Средняя численность макрозообентоса озера Гусинец составила $134,1 \pm 6,4$ экз./м². Средняя биомасса составила $3,94 \pm 0,53$ г/м². По значению средней биомассы водоем относится к высококормным.

Наибольший вклад в общую численность вносят представители класса Паукообразные, которые составляют 30,1% от общей численности беспозвоночных животных озера Гусинец. Наименьшую долю в общей численности имеют представители класса Двустворчатые моллюски – 0,9%. Представители отряда Двукрылые составили 21,2% от общей численности беспозвоночных животных озера Гусинец. Представители классов Ракообразные и Брюхоногие моллюски – 8,9% и 8,8% соответственно, класса Пиявки – 6,2%, класса Малощетинковые черви – 3,6%, класса Ресничные черви – 2,7%. Представители отряда Клопы составили 4,4% и отряда Стрекозы – 3,5% от общей численности беспозвоночных животных озера Гусинец.

Наибольший вклад в общую биомассу вносят представители отряда Жесткокрылые, которые составляют 20,7% от общей биомассы беспозвоночных озера Гусинец. Наименьшую долю в общей биомассе имеют представи-

тели класса Ресничные и Малощетинковые черви – по 0,1% от общей биомассы беспозвоночных озера Гусинец.

По значениям информационных индексов, рассчитанным по численности, на станциях № 2–7 сообщества являются малоустойчивыми (индекс Шеннона от 1 бит/экз до 2 бит/экз). Только на станции № 1 сообщество устойчивое (индекс Шеннона больше 3 бит/экз). Индекс Симпсона на всех станциях подтверждает индекс Шеннона (табл. 2).

Таблица 2

Значения информационных индексов для макрозообентоса озера Гусинец по станциям отбора гидробиологических проб

№ станций	По численности		По биомассе	
	H	D	H	D
1	3,20	0,88	2,77	0,84
2	2,69	0,83	2,12	0,71
3	2,36	0,77	1,37	0,54
4	2,70	0,84	2,28	0,74
5	2,88	0,84	2,28	0,75
6	2,83	0,84	2,55	0,78
7	2,79	0,84	2,55	0,79
Среднее по озеру	2,78±0,09	0,83±0,01	2,27±0,17	0,73±0,04

По биомассе на всех семи станциях индекс Шеннона составляет от 1 бит/г до 2 бит/г – сообщества малоустойчивы. Индекс Симпсона на всех станциях подтверждает индекс Шеннона.

По значениям информационных индексов в среднем по исследуемому водоему макрозообентосное сообщество озера является малоустойчивым и по численности и по биомассе. Индекс ББИ равен 7, водоем испытывает легкое влияние стоков. Индекс Пантле-Букка в озере Гусинец равен 2,82, что позволяет сказать, что в озере α-мезосапробные воды.

Исследования выполнены в рамках проведения работ по х/д № 416 от 13 апреля 2022 года «Изучение биологического разнообразия на ООПТ».

Библиографический список

1. Бедова П. В., Бушуева И. В. Структурно-функциональные характеристики макрозообентоса реки Перша // Современные проблемы естественных наук и медицины : сб. статей Всерос. науч. конф. Вып. 9. Йошкар-Ола, 2020. С. 129–132.
2. Бедова П. В., Богданов Г. А., Тимофеева М. Ю. Лимнологические исследования озера Патьяр с целью расширения ООПТ в Республике Марий Эл // Проблемы изучения и охраны животного мира на Севере : материалы докладов Всерос. конф. с междунар. участием. Сыктывкар, 2009. С. 351–353.
3. Куликова А. Д., Бедова П. В. Современное экологическое состояние озера Патьяр // Современные проблемы медицины и естественных наук : сб. статей Всерос. науч. конф. Вып. 6. Йошкар-Ола : ОООИПФ «Стринг», 2017. С. 157–160.
4. Тимофеева М. Ю., Бедова П. В. Донная фауна озер правобережья реки Ветлуги и условия ее существования // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Киров, 2007. С. 272–275.

5. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В. А. Абакумов. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 65 с.

6. Шитиков В. И., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

7. Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра Европейской России. М. : МАКС Пресс, 2003. 196 с.

ПАТТЕРНЫ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ ПОЧВЕННОЙ МЕЗОФАУНЫ ЛУГОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Т. А. Гордиенко, Д. Н. Вавилов, Р. А. Суходольская
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
eiseniata@gmail.com

Исследования проводили в двух удаленных друг от друга участках заповедника – Раифа (2 биотопа) и Саралы (3 биотопа) и охранной зоне (2 биотопа), подвергнутой антропогенному влиянию. В каждом биотопе в течение трех лет оценивали весеннюю и осеннюю численность: в Саралинском участке заповедника в большинстве случаев она отличалась незначительно, в охранной зоне наблюдалась тенденция снижения обилия к осени, что, по-видимому, связано с антропогенным влиянием. В Раифском участке в равных долях нейтральные и отрицательные тенденции в пределах ошибки.

Ключевые слова: сезонная динамика, почвенная мезофауна, дождевые черви.

Исследования проводили на территории двух участков Волжско-Камского заповедника Раифском и Саралинском в весенний и осенний периоды 2019–2022 гг. Животных учитывали стандартным почвенно-зоологическим методом: почвенные пробы на площадках 0,0625 м² на глубину 0–15 см. В Саралинском участке обследовано три луга в квартале (кв.) 32 на разных уровнях: один злаково-разнотравный среднего уровня луг (ВхЛг-32-Саралы), другой вейниково-белокопытниково-разнотравный луг в небольшом понижении (СЛг-32-Саралы), также в кв. 30 луг злаково-разнотравный среднего уровня (СЛг-30-Саралы). Эти луга расположены в окружении лесного массива. Также в охранной зоне изучены два злаково-разнотравных луга среднего уровня один из них в пойме полевого озера (ПЛг-Ох3-Саралы), другой в 100 м от него (СЛг-Ох3-Саралы). Луга охранной зоны расположены в агроценозе (многолетние травы).

Луга в Раифском участке заповедника одной стороной примыкают к одноименному озеру, другой к лесному массиву (кв. 33 и 38). Последний из них частично затопливается весенними водами, которые остаются на поверхности до середины лета.

Саралинский участок расположен в широколиственной ландшафтной подзоне; Раифский – в подтаежной ландшафтной подзоне [1].

Значительность колебаний численности педобионтов в сезоне ряды оценивали по ошибке средней (m), если в паре сравнения весны и осени значения средней статистической и ее ошибки не перекрывались, тогда можно говорить о значительных сезонных отличиях. Ставили «+» когда обилие педобионтов весной значительно ниже по сравнению с осенью и «-» если наоборот. При колебаниях численности в пределах ошибки оценивали как «0». Далее использовали метод «подсчета голосов».

Анализ тенденций сезонной динамики численности дождевых червей в луговых фитоценозах в Саралинском участке заповедника показал, что в большинстве случаев (60%) колебания обилия происходили в пределах ошибки (т. е. нет достоверных изменений) (табл. 1, рис. 1). В 1/3 из всех случаев наблюдали снижение численности люмбрицид в сезонном аспекте (33,3%). И только в одном случае отмечали рост обилия (6,7%).

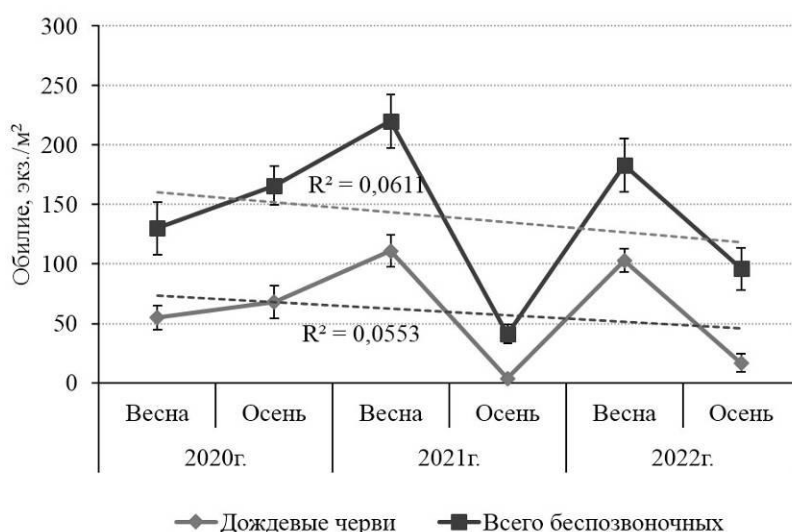


Рис. 1. Сезонная динамика численности почвенной мезофауны в охранной зоне Саралинского участка заповедника

Несколько другая картина наблюдалась в целом со всей мезофауной. Отмечена одинаковая доля случаев без изменений численности и с ее понижением (по 46,7%) к осени, в одном случае положительная тенденция роста численности.

Луга в охранной зоне имела тенденции к снижению обилия мезофауны и дождевых червей к осени, в отличие от природных естественных лугов заповедника, где колебания происходили в пределах ошибки (табл. 1). Возможно уменьшение численности педобионтов связано с выпасом крупного рогатого скота и сенокоса в охранной зоне.

Таблица 1

**Тенденции изменения численности дождевых червей по сезонам
в Саралинском участке заповедника**

Точки исследования	Сезонные изменения обилия дождевых червей	Сезонные изменения обилия мезофауны
ПЛг-Ох3-Саралы	0 – –	0 – –
СЛг-Ох3-Саралы	0 – –	+ – –
ВхЛг-32-Саралы	0 0 0	0 0 –
СЛг-32-Саралы	– 0 +	– 0 0
СЛг-30-Саралы	0 0 0	– 0 0
Итого	0 – 9 (60,0%), – – 5 (33,3%), + – 1 (6,7%)	0 – 7 (46,7%), – – 7 (46,7%), + – 1 (6,7%)

Примечание: «+» – обилие педобионтов весной значительно ниже по сравнению с осенью, «–» обилие педобионтов весной значительно выше по сравнению с осенью, «0» – колебание численности в пределах ошибки.

На лугах Раифского участка заповедника наблюдалось в 50% случаев статистически значимое снижение численности дождевых червей в сезонном аспекте (табл. 2), чуть меньше (33%) положительно направленных тенденций. Особенно уменьшение обилия червей отмечено в кв. 38 (рис. 2), который частично затапливался весенними водами из-за понижения рельефа и близости грунтовых вод. В целом вся мезофауна имела равные доли разной направленности динамики численности.

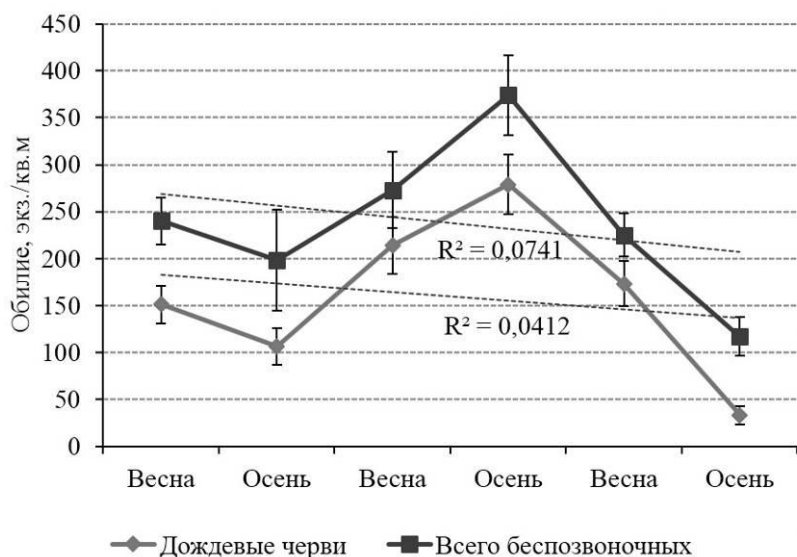


**Рис. 2. Сезонная динамика численности почвенной мезофауны
в кв. 33 Раифского участка заповедника**

**Тенденции изменения численности дождевых червей по сезонам
в Раифском участке заповедника**

Точки исследования	Сезонные изменения обилия дождевых червей	Сезонные изменения обилия мезофауны
Кв. 33	+ 0 –	+ 0 –
Кв. 38	– + –	0 + –
Итого	– – 3 (50%), + – 2 (33,3%) 0 – 1 (16,7%)	– – 2 (33,3%), + – 2 (33,3%), 0 – 2 (33,3%)

Примечание: «+» – обилие педобионтов весной значительно ниже по сравнению с осенью, «–» обилие педобионтов весной значительно выше по сравнению с осенью, «0» – колебание численности в пределах ошибки.

Таким образом, колебания численности в сезонном аспекте по годам могли быть в одном биотопе разнонаправленными, их колебания могут как значительно отличаться, так и быть в пределах ошибки. В большинстве случаев в Саралинском участке сезонная динамика слабо выражена, кроме охранной зоны заповедника, где проводят выпас скота и ведется сенокос. В Раифском участке, колебания обилия педобионтов выражены несколько лучше. Ранее нами было замечено в лесопарковой зоне Казани, что с увеличением антропогенного воздействия увеличивается амплитуда колебаний численности трофических групп педобионтов по годам [2].

Согласно литературным данным в высокоширотных местообитаниях сезонные колебания видового богатства, разнообразия и равномерности распределения ослабевают по мере повышения температуры почвы, в то время как биомасса беспозвоночных изменяется больше [3]. Температура играет ключевую роль в структурировании наземных сообществ, особенно в экосистемах высоких широт с сильной сезонной погодной динамикой и коротким вегетационным периодом. Поскольку в нашем случае район исследования расположен в средней полосе, поэтому постоянных сезонных различий не наблюдается, что согласуется с выводами авторов.

Библиографический список

1. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ // О. П. Ермолаев, М. Е. Игонин, А. Ю. Бубнов, С. В. Павлов / под ред. профессора О. П. Ермолаева. Казань : «Слово», 2007. 411 с.
2. Гордиенко Т. А., Вавилов Д. Н., Суходольская Р. А. Влияние рекреации на сообщества почвенной мезофауны лесопарковой зоны г. Казани // Поволжский экологический журнал. 2016. № 2. С. 144–154.
3. Temperature effects on the temporal dynamics of a subarctic invertebrate community / S. I. Robinson, J. Mikola, O. Ovaskainen, E. J. O'Gorman // Journal of Animal Ecology. 2021. Vol. 90. P. 1217–1227. doi: 10.1111/1365-2656.13448

ПИЯВКИ (HIRUDINEA) В ЗООБЕНТОСЕ р. КУКАРКИ (СОВЕТСКИЙ РАЙОН, КИРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) В УСЛОВИЯХ СБРОСА ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Т. И. Кочурова

*Вятский научно-технический информационный центр
мониторинга и природопользования,
Государственный природный заповедник «Нургуш»,
kochurovati@mail.ru*

Представлены данные о видовом составе, количественных характеристиках (численность, биомасса) пиявок (Hirudinea) малой реки на участке сброса недостаточно очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод. Показано нарастание численности и биомассы пиявок, а также их доли в составе общего бентоса под влиянием стоков. Выявлена положительная корреляция биомассы пиявок с биомассой общего зообентоса, брюхоногих моллюсков, олигохет и хирономид.

Ключевые слова: зообентос, пиявки, Hirudinea, видовой состав, численность, биомасса, хозяйственно-бытовые сточные воды, корреляция.

Пиявки – исключительно плотоядные животные. По способу питания они или кровососы, паразитирующие на различных видах беспозвоночных и позвоночных животных, или хищники. Постоянных эктопаразитов, покидающих своих хозяев лишь на короткие периоды размножения, немного (большинство рыбных пиявок). Остальные виды ведут активный образ жизни. В континентальных (пресноводных) водоемах Палеарктики обитает 185 видов пиявок. В пресных водоемах европейской части России распространено около 30 [1].

Фауна пиявок Кировской области к настоящему времени насчитывает 13 видов [2–4]. Количественные показатели данной группы гидробионтов и доля в составе зообентоса водоемов бассейна р. Вятки на сегодняшний день остаются слабо изученными.

В данной работе представлены сведения о видовом составе и количественном присутствии (численность, биомасса, доля в общем зообентосе) пиявок в р. Кукарке (Советский р-н, Кировская обл.), полученные в ходе исследования зообентоса реки в условиях сброса недостаточно очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод Советского дома-интерната.

Река Кукарка – приток р. Вятки второго порядка – имеет длину 8,4 км, площадь водосбора – 28,2 км². Берет начало в пяти километрах юго-восточнее г. Советска. Около двух км её нижнего течения проходит по территории этого города, после чего река впадает с правого берега в р. Пижму.

Исследования проводили 5 августа и 30 сентября 2021 г. на четырех станциях (ст.): ст. 1 располагалась в 400 м выше выпуска сточных вод, ст. 2, 3 и 4 соответственно в 50 м, 600 м и 1000 м ниже выпуска сточных вод. Отбор проб зообентоса осуществляли гидробиологическим скребком с площади $1/20 \text{ м}^2$ с грунта на дне водоема. В пределах одной станции отбирали по три количественных (две с мягких грунтов и одну с каменистого) и одной качественной пробе (с высшей водной растительности). Пробы промывали на сите из мельничного газа с размером ячеек 0,4 мм и фиксировали 70%-ным этиловым спиртом. Всего было собрано и обработано 32 пробы зообентоса. Идентификацию пиявок выполняли в лабораторных условиях с использованием бинокулярного микроскопа и определителей [1, 5]. По общепринятым методикам [6] устанавливали численность и биомассу пиявок, их долю в общем зообентосе. Для выявления связи между гидробиологическими характеристиками (биомасса пиявок, биомасса общего зообентоса и его основных групп) применяли метод парных корреляций. Достоверность корреляции оценивали при уровне значимости $p \leq 0,05$ [7] и объеме выборок (n) от 4 до 8 в зависимости от компонента.

Донные отложения реки в районе исследования были представлены каменистыми и песчаными грунтами, местами с присутствием наилка.

В результате исследований в зообентосе р. Кукарки было выявлено присутствие восьми видов пиявок из двух семейств:

Семейство Glossiphoniidae – Плоские пиявки

Glossiphonia complanata (Linnaeus, 1758)

Glossiphonia concolor (Apathy, 1888)

Helobdella stagnalis (Linnaeus, 1758)

Theromyzon tessulatum (Müller, 1774); синоним: *Protocleipsis tessulata*

Theromyzon maculosum (Rathke, 1862) синоним: *Protocleipsis maculosa*

Boreobdella verrucata (Müller, 1844)

Семейство Erpobdellidae – Глоточные пиявки

Erpobdella octoculata (Linnaeus, 1758)

Erpobdella testacea (Savigny, 1822)

Два вида – *Glossiphonia concolor* и *Erpobdella testacea* – не указывались ранее для Кировской области.

Glossiphonia concolor – пиявка длиной 10–15 мм. Имеет узкое миндалевидное тело кофейного цвета. Поверхность тела гладкая; сосочки на спинной стороне не заметны, однако, как и у *G. complanata*, выражены продольные пунктирные линии; часто видны дополнительные линии из темных точек. Края тела зазубрены меньше, чем у *G. complanata*. Глаз три пары, но первая пара обычно сильно, а иногда и совсем, редуцирована. Паразитирует на моллюсках и, возможно, на других мелких беспозвоночных. В европейской части России распространена повсеместно, но встречается гораздо реже, чем *G. complanata* [1].

Нами было обнаружено шесть особей данного вида на песчаных с присутствием щебня и наилка грунтах ст. 3 и 4.

Erpobdella testacea – пиявка длиной 19–45 мм (обычно 20–30 мм), шириной 2–5 мм. Окраска спины однотонная (коричневато-серая, зеленовато-серая) или с узкой темной полосой вдоль средней линии спины; иногда заметны темные пятнышки. Брюшная сторона немного светлее. Хищники, поедают мелких животных. В европейской части России встречается повсеместно, однако на северо-востоке очень редка [1].

В наших сборах обнаружена одна особь данного вида на песчаных с присутствием щебня и наилка грунтах ст. 3.

Частота встречаемости пиявок в бентосе р. Кукарки составила 78%, что вдвое превышало средние значения для рек нашего региона [8]. Наибольшее распространение имели *H. stagnalis* (присутствовала почти в половине проб), а также представители родов *Erpobdella* и *Glossiphonia* (присутствовали соответственно в 69% и 25% проб). Наименьшая встречаемость (3%) отмечена для *T. tessulatum*, *T. maculosum*, *E. testacea*.

В сезонном аспекте наибольшее таксономическое богатство зафиксировано в августе (встречены все восемь видов); в сентябре оно снизилось до пяти видов: не были обнаружены *T. tessulatum*, *T. maculosum* и *E. testacea*. При движении вдоль продольного профиля реки количество видов изменялось незначительно. Отмечена тенденция снижения показателя на участке, расположенном непосредственно ниже сброса сточных вод (от четырех видов в фоновом створе до трех на ст. 2), с последующим увеличением до шести видов на ст. 3 и 4.

Средняя численность пиявок на исследованном участке реки составила 237 экз./м², средняя биомасса – 2,98 г/м², что также существенно превышало значения аналогичных показателей, установленных прежде для рек Вятского бассейна [8]. Максимальные показатели абсолютной численности (1420 экз./м²) зарегистрированы в августе на ст. 3; численно доминировала *H. stagnalis*. Максимальные абсолютные значения биомассы (16,8 г/м²) установлены в сентябре непосредственно ниже сброса сточных вод (ст. 2); в качестве доминантов здесь выступали представители рода *Erpobdella*.

Изменения средних (для станции) значений плотности пиявок вдоль продольного профиля р. Кукарки и доли их в общем зообентосе приведены на рис. 1–4. Результаты показывают, что численность пиявок, как в августе, так и в сентябре нарастала от фонового створа к ст. 3 и вновь снижалась на ст. 4, однако оставалась выше фоновых показателей (рис. 1). Сходная динамика отмечена и для биомассы, которая на нижних станциях сильно превышала значения фонового створа, в августе достигая максимума на ст. 3 (3,85 г/м²), в сентябре – на ст. 2 (6,18 г/м²) (рис. 3).

Доля пиявок в общей численности зообентоса (рис. 2) в августе снижалась от 4,4% (ст. 1) до 1,2% (ст. 2), возрастала на ст. 3 до 6,7% и вновь снижалась на ст. 4 до фоновых значений. В сентябре максимальный показатель также отмечен на ст. 3, где он составил 10,8%. Доля пиявок в общей биомассе в оба сезона демонстрировала сходную динамику (рис. 4). Минимальные значения установлены на ст. 1 (август 1,3%; сентябрь 0%), на ст. 2 они нарастали

(август 38%; сентябрь 23%), достигали максимальных значений на ст. 3 (август 62%; сентябрь 45%) и вновь снижались на ст. 4 (август 46%; сентябрь 37%). Хотя абсолютные показатели биомассы пиявок от августа к сентябрю нарастали, доля их в бентосных сообществах при этом несколько снижалась, продолжая оставаться очень высокой. Полученные данные (за исключением фонового створа) существенно превышали отмечаемые ранее средние региональные значения [8]. В целом, под влиянием сброса сточных вод пиявки, наряду с олигохетами, стали доминирующей группой в бентоценозах нижних станций (ст. 2, 3, 4), вытеснив из состава доминантного комплекса ручейников.

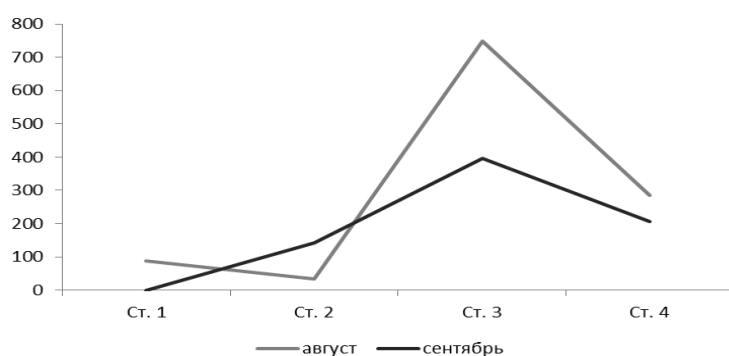


Рис. 1. Пространственная динамика численности пиявок (экз./м²) в р. Кукарке

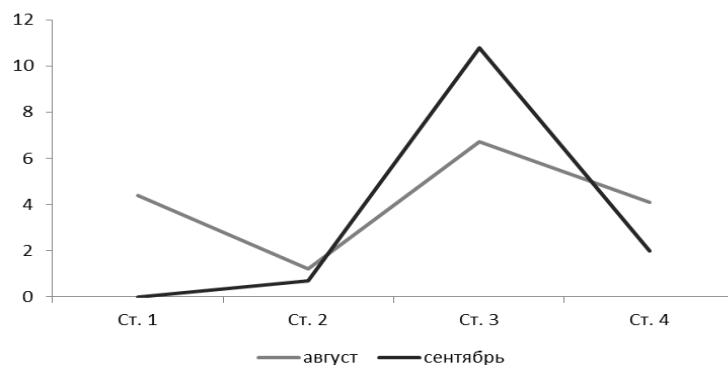


Рис. 2. Доля пиявок (%) в общей численности зообентоса р. Кукарки

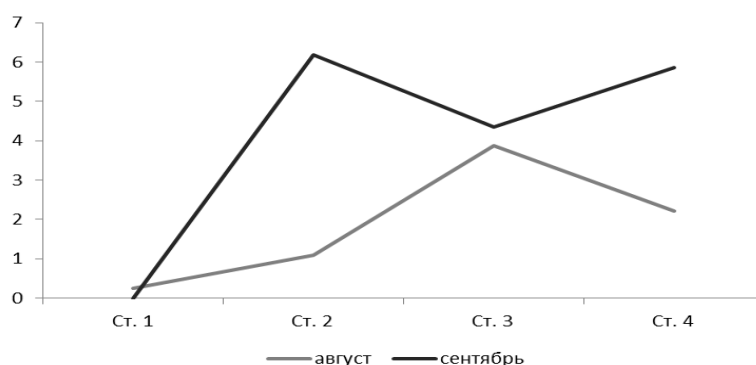


Рис. 3. Пространственная динамика биомассы пиявок (г/м²) в р. Кукарке

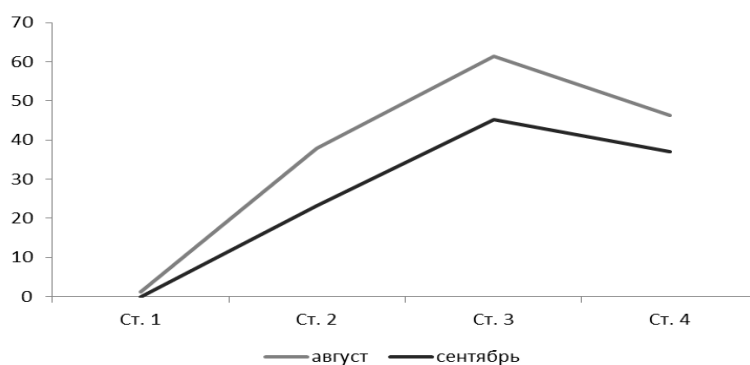


Рис. 4. Доля пиявок (%) в общей биомассе зообентоса р. Кукарки

Корреляционный анализ выявил наличие достоверной положительной связи биомассы пиявок с биомассой общего зообентоса (коэффициент корреляции (r) составил 0,97 при критическом значении $r_{кр} = 0,75$; $n = 7$), а также с биомассами брюхоногих моллюсков ($r = 0,95$ при $r_{кр} = 0,71$; $n = 8$), олигохет ($r = 0,90$ при $r_{кр} = 0,71$; $n = 8$) и хирономид ($r = 0,99$ при $r_{кр} = 0,95$; $n = 4$).

Таким образом, в ходе проведенных исследований на изучаемом участке р. Кукарки выявлено обитание восьми видов пиявок, два из которых – *Glossiphonia concolor* и *Erpobdella testacea* – являются новыми для фауны Кировской области. Анализ полученных результатов свидетельствует о нарастании количественного присутствия данной группы гидробионтов и усилении их доли в составе бентосных сообществ реки на участках, расположенных ниже сброса сточных вод. Увеличение биомассы пиявок и их доли в донных сообществах происходило на фоне роста биомассы общего зообентоса, в том числе роста биомассы брюхоногих моллюсков, олигохет и личинок хирономид, являющихся основными пищевыми объектами представителей сем. Glossiphoniidae и Erpobdellidae. Выявленные процессы, вероятно, являлись следствием антропогенной эвтрофикации реки в условиях влияния недостаточно очищенных сточных вод. Происходящее при этом нарастание интенсивности продукционных процессов послужило причиной формирования благоприятных условий, и в первую очередь богатой кормовой базы, для представителей Hirudinea.

Автор выражает благодарность руководителю и сотрудникам Кировского областного государственного бюджетного учреждения «Вятский научно-технический информационный центр мониторинга и природопользования», в том числе лично М. Л. Цепелевой, за организацию работы и помощь в проведении отбора проб зообентоса.

Библиографический список

1. Циплѐнкина И. Г. Пиявки // Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Зообентос / под ред. В. Р. Алексеева и С. Л. Цалолихина. М. – СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. Т. 2. С. 98–121.
2. Леви Э. К. Класс Пиявки // Животный мир Кировской области. Киров, 1971. С. 169–172.

3. Ходырев Н. Н. Класс Пиявки // Животный мир Кировской области (беспозвоночные животные). Дополнение. Киров : Изд-во ВГПУ, 2001. Т. 5. С. 66–67.

4. Фауна пиявок (Hirudinida) пойменных водоёмов заповедника «Нургуш» (Кировская область) / Л. Г. Целищева, Т. И. Кочурова, Е. В. Рогожникова, Н. Н. Ходырев // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. с междунар. участием конференции. (г. Киров, 27–28 апреля 2021 г.). Киров : ВятГУ, 2021. Кн. 2. С. 390–395.

5. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб. : Наука, 1994. Т. 1. 395 с.

6. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под общ. ред. В. А. Абакумова. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

7. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М. : Практика, 1998. 439 с.

8. Кочурова Т. И. Зообентос водоемов бассейна р. Вятка в условиях антропогенного влияния : дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16: защищена 17.12.08. Сыктывкар, 2008. 217 с.

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА *PARACOBITIS LONGICAUDA* (CYPRINIFORMES: COBITIDAE) В РЕКЕ ШЕРАБАД И ЕЕ ПРИТОКАХ

***А. К. Куватов*¹, *М. Ш. Атамуратова*², *У. Т. Мирзаев*²**

¹ *Ташкентский государственный аграрный университет,*

² *Институт зоологии Академии наук Республики Узбекистан,
asqarquvatovxabb@mail.ru*

В статье представлены результаты изучения морфологических и морфометрических характеристик *Paracobitis longicauda* [1], собранного летом 2022 г. (06.06.2022 г.) из р. Шерабад и ее правого притока руч. Лайликсай. Были получены точные координаты местности, где были взяты пробы, и составлена географическая карта. На собранных образцах ($n = 23$, $TL = 66,1–142,3$; $SL = 54,4–121,2$ мм) ихтиологического материала проведены морфологические, морфометрические и визуальные наблюдения. Представлены сведения о распространении и описании естественного ареала *Paracobitis longicauda* в Республике Узбекистан. Численные данные по меристическим и пластическим параметрам представлены в табличной форме.

Ключевые слова: *Paracobitis longicauda*, р. Шерабад, руч. Лайликсай, морфология, морфометрия, координаты.

Распространение: *Paracobitis longicauda* [1] впервые описан К. Ф. Кесслером и отмечен у Федченко как единственный экземпляр длиной 140 мм, привезенный из бассейна р. Заравшан (Акдарья) [1]. Л. С. Берг провел исследование проб, собранных в поселке Дарбанд на р. Шерабад (рис. 633. Восточный короношейный голожаберный моллюск. р. Шерабад, пос. Дарбанд, VI 1912 г.) [2]. Г. В. Никольский [3] проводил исследования на пробе, взятой из р. Сурхан. (Фото 46. *Nemacheilus malapterurus longicauda* Kess. Половозрелая особь. Сурхан, R-2522). А. А. Аманов отмечал, что его можно

встретить от низовьев р. Амударьи до ее верховьев [4], то есть в Сурхандарье. И. М. Мирабдуллаев и др. сообщает, что вид широко распространен в Центральной Азии и предпочитает верховья рек [5, 6].

Исследования *Paracobitis longicauda* проводились узбекскими учеными и зарубежными исследователями: Named Mousavi-Sabet и др. [7], Hamid Reza Esmaeili и др. [8], Brian V. Coad [9], Б. Камилов и др. [10], З. А. Мустафаева и У. Т. Мирзаев [11].

Сбор, сортировка, фиксация и обработка проб рыб, а также морфометрические измерения проводили по И. Ф. Правдину [12] выполнен на основе габаритного чертежа, предложенного. Длину измеряли в мм. При статистической обработке материала расчет среднего показателя (M), его погрешности (m), среднеквадратичного ограничения (σ) и коэффициента вариации ($Cv\%$) рассчитывали по методике Г. Ф. Лакина [13].

Материалы собраны в летний сезон 2022 г. (06. 06. 2022 г.) из р. Шерабад, притока бассейна р. Амударья, и из ее правого притока руч. Лайликсай ($n = 23$). Координаты точек отбора проб: $37^{\circ}43'14,33''$ с. ш., $66^{\circ}59'52,60''$ в. д.; $37^{\circ}43'20,85''$ с. ш., $66^{\circ}58'57,03''$ в. д.; $37^{\circ}43'9,00''$ с. ш., $66^{\circ}58'30,43''$ в. д. (рис. 1) Материал фиксировали в 10 % растворе формалина в полевых условиях и 4% раствором формалина в лаборатории.

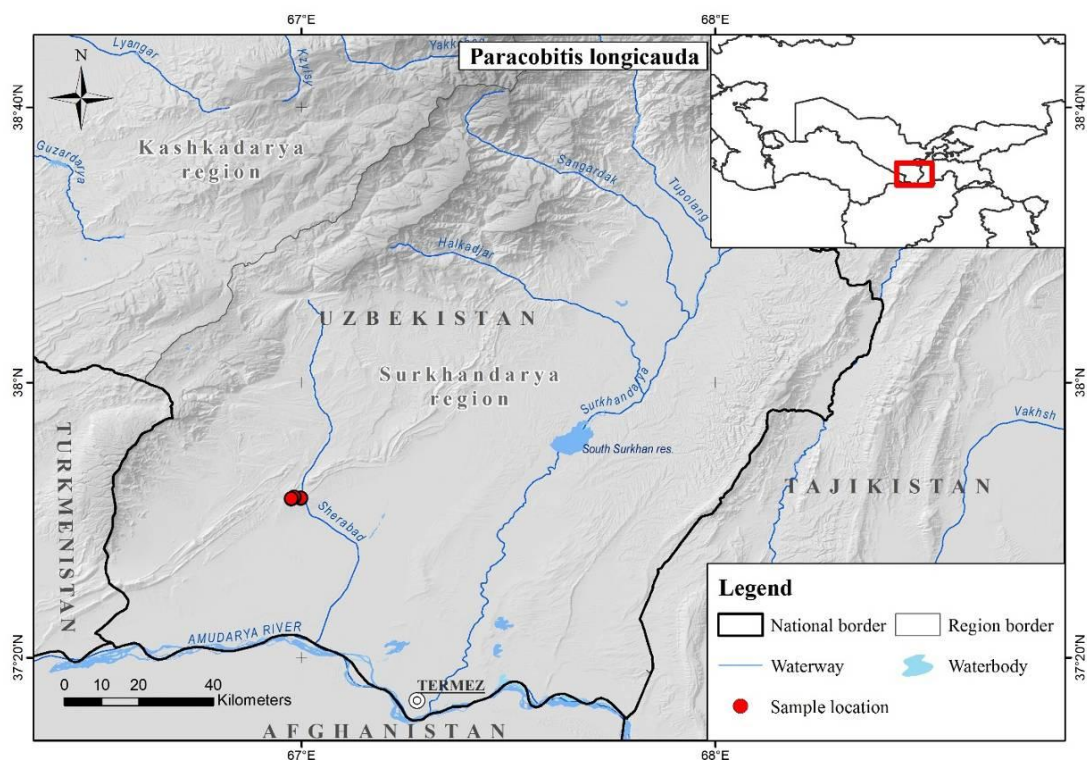


Рис. 1. Пункты сбора проб. Сурхандарьинская область Республики Узбекистан, Шерабадский район, руч. Лайликсай р. Шерабад

Морфологические и морфометрические исследования проведены на выборках *Paracobitis longicauda*, наименьший размер тела которых составил

$SL = 54,4$ мм, а наибольший – $121,2$ (в среднем $66,2$) мм. Выборку не делили на самцов и самок.

Морфологическое описание. Окраска тела *Paracobitis longicauda* бледно-желтая. Бока брюшка и нижняя часть головы белого цвета. Верх и бока тела покрыты черными пятнами различной формы у молодых и мелких особей. У крупных образцов ($SL = 121,2$ мм) пятна хорошо видны на брюшке (рис. 2). Эти пятна становятся меньше и толще на шее и голове (рис. 3). Черные пятна расположены по всей длине тела на одном уровне и не опускаются ниже основания грудного плавника (с брюшной стороны). Пятна имеются на всех плавниках, кроме брюшных. У мелких особей ($SL = 60 \pm 5$ мм) пятна незаметны или отсутствуют. Усы у взрослых и крупных особей хорошо развиты. Хвостовые плавники подрезаны, с закругленными углами.



Рис. 2. Вид снизу крупной особи *Paracobitis longicauda*. Фото А. Куватова



Рис. 3. Вид спереди крупной особи *Paracobitis longicauda* и структура его головы и усов. Автор фото: А. Куватов

Вид встречается в основном на медленнотекущих, засоренных участках ручья. Было замечено, что он образует ассоциацию с такими видами, как *Sabanejewia aralensis*, *Varicorhinus capota steindachneri* в подводной экосистеме.

Меристические характеристики. Материалы были подвергнуты морфологическим и морфометрическим измерениям и определены основные параметры тела. По результатам измерений меристические признаки были следующими: число лучей на плавниках: спинных (D) III (II) 7, анальных (A) III 5 (рассчитано путем сложения двух последних щетинок анального плавника),

вентральных (*V*) I 7, грудных (*P*) I 9, каудальных (*C*) 21–23 (учитывались только разветвленные чешуи), количество чешуй в боковой линии 100–105 (в среднем 101,1).

Внешний вид особи длиной $TL = 68,4$ мм, $SL = 57,2$ мм представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Общий вид *Paracobitis longicauda*, собранной в июне 2022 г. в нижнем течении руч. Лайликсай р. Шерабад и хранящийся в 4% растворе формалина. Фото А. Куватова

Пластические признаки представленные в процентах от длины тела составляют: ширина лба (*io*) – 13,1%, диаметр глаза (*o*) – 10,1%, высота тела (*H*) – 10,5%, длина основания анального плавника (*lA*) средняя высота – 10,0 %; длина головы (*c*) – 3,8%, голова за глазами (*po*) – 6,8%, высота головы (*hc*) – 8,8%, высота нижней части тела (*h*) – 6,9%, антидорсальное расстояние (*aD*) – 3,5%, постдорсальное расстояние (*pD*) – 4,1%, длина оси хвоста (*lca*) – 9,6%, длина основания плечевого плавника (*lD*) – 6,4%, высота плечевого плавника (*hD*) – 8,6%, высота анального плавника (*hA*) – 5,9%, длина грудного плавника (высота) (*lP*) – 8,3%, длина брюшного плавника (высота) (*lV*) – 7,0%, расстояние между грудными и брюшными плавниками (*PV*) составило – 6,5%, расстояние между брюшными и анальными плавниками (*VA*) – 5,0%.

Пластические признаки представленные в процентах длины головы составляют: ширина лба (*io/c*) – 12,7% диаметр глаз (*o/c*) – 9,9%, площадь головы за глазами (*po/c*) – 6,8%, высота головы (*hc/c*) – 7,6%.

Ярко выраженной изменчивости в пластических признаках у *Paracobitis longicauda* не наблюдали. Показатели пластических свойств представлены в таблице.

Таблица

Показатели пластических показателей *Paracobitis longicauda* в р. Шерабад ($n = 23$)

Показатель	Мин-Мак	$M \pm m$	σ	$Cv \%$
1	2	3	4	5
<i>SL</i> , мм	54–121	$66,2 \pm 3,2$	15,2	3,8
В % от длины тела (<i>SL</i>)				
<i>c</i>	21,5–25	$23,2 \pm 0,2$	0,9	3,8
<i>o</i>	2,5–3,8	$3,3 \pm 0,1$	0,3	10,1
<i>po</i>	9,7–12,3	$11,3 \pm 0,2$	0,8	6,8

1	2	3	4	5
<i>hc</i>	9,9–15	12,2±0,2	1,1	8,8
<i>io</i>	4,8–7,4	6,1±0,2	0,8	13,1
<i>H</i>	12,4–19,3	17,1±0,4	1,8	10,5
<i>h</i>	8,3–11,1	9,7±0,1	0,7	6,9
<i>aD</i>	44,6–52,6	49,7±0,4	1,8	3,5
<i>pD</i>	36,7–43	39,3±0,3	1,6	4,1
<i>lca</i>	12,1–19	16,5±0,3	1,6	9,6
<i>lD</i>	10–13	11,7±0,2	0,8	6,4
<i>hD</i>	14,9–21,4	18,5±0,3	1,6	8,6
<i>lA</i>	6,3–8,8	7,6±0,2	0,8	10,0
<i>hA</i>	13,6–16,7	15,1±0,2	0,9	5,9
<i>lP</i>	12,4–19,6	17,1±0,3	1,4	8,3
<i>lV</i>	12,4–16,7	14,8±0,2	1,0	7,0
<i>PV</i>	26,8–33,8	31,2±0,4	2,0	6,5
<i>VA</i>	19,5–24,8	21,8±0,2	1,1	5,0
В % от длины головы (<i>c</i>)				
<i>o/c</i>	10,5–16,7	14,3±0,3	1,4	9,9
<i>po/c</i>	42,9–53,8	48,8±0,7	3,3	6,8
<i>hc/c</i>	46,2–64,3	52,3±0,8	4,0	7,6
<i>io/c</i>	21,1–30,8	26,4±0,7	3,3	12,7

Примечание: *SL* – длина рыбы без хвоста, *c* – длина головы, *o* – диаметр глаза, *po* – длина головы за глазами, *hc* – высота головы у горла, *io* – ширина лба, *H* – самая высокая часть тела, *h* – самая низкая часть тела, *aD* – антидорсальное расстояние, *pD* – постдорсальное расстояние, *lca* – длина оси хвоста, *lD* – длина основания плечевого плавника, *hD* – высота плечевого плавника, *lA* – длина основания анального плавника, *hA* – высота анального плавника, *lP* – длина грудного плавника, *lV* – длина брюшного плавника, *PV* – расстояние между грудным и брюшным плавниками, *VA* – расстояние между брюшным и анальным плавниками, *o/c* – отношение диаметра глаза к длине головы, *po/c* – отношение затылка к длине головы, *hc/c* – отношение высоты головы к длине головы, *io/c* – отношение ширины лба к длине головы.

Обсуждение: было исследовано 23 особи со средними размерами *SL*=66,17 мм. По отношению к длине тела без хвоста (*SL*) она составляет 1/4 длины головы и 1/5 общей длины (*TL*). И это К. Ф. Кесслер объясняет тем, что морфологические признаки упомянутого вида такие же, как и в исходной записи. Данные размеры идентичны размерам первого описания вида К. Ф. Кесслером [1].

Морфометрические исследования особей *Paracobitis longicauda*, взятых из ручья Лайликсай притока р. Шерабад, показывают, что коэффициент вариации пластических признаков может колебаться от 3,8 до 13,1% (в среднем 7,8%). При взятии показателей признаков по отношению к длине тела и головы высокой изменчивости у них не наблюдалось. При сравнении с литературными источниками [1, 2, 4] достоверной разницы между морфологическими и морфометрическими показателями между ранними и современными образцами не обнаружено.

Библиографический список

1. Кесслер К. Ф. Известия Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии. Т. X, вып. 1. М., 1872. С. 65–66.
2. Берг Л. С. Пресноводные рыбы СССР и соседних стран. Часть 2. М., 1949. С. 884–886.
3. Никольский Г. В. Рыба Таджикистана. Эд. АН СССР, Москва, Ленинград, 1938. С. 151–153.
4. Аманов А. А. Экология рыб водоемов юга Узбекистана и сопредельных республик. Ташкент, 1985. С. 88–94.
5. Мирабдуллаев И. М., Мирзаев У. Т., Хегай В. Н. Определитель рыб Узбекистана. Издание второе, исправленное и дополненное. Ташкент. 2002. С. 64.
6. Ключ идентификатора рыбы в Узбекистане и соседних регионах : методическое пособие / И. М. Мирабдуллаев, У. Т. Мирзаев, А. Р. Кузметов, З. О. Кимсанов. 2011. С. 108.
7. Redescription of *Paracobitis rhadinaea* (Regan, 1906) from Sistan Basin, Iran (Teleostei: Nemacheilidae) / H. Mousavi-Sabet, A. Gharaei, A. Nasrollahzade, A. Habibi, S. Eagderi // International Journal of Aquatic Biology 2013. Vol. 2. No. 5. P. 286–291.
8. Checklist of freshwater fishes of Iran / H. R. Esmaili, G. Sayyadzaseh, S. Eagderi, K. Abbasi // Fish Taxa. 2018. Vol. 3. No. 3. P. 1–95.
9. Brian W. Coad Native fish biodiversity in Afghanistan // Iran Journal of Ichthyology. 2015. Vol. 2. No. 4. P. 227–234.
10. Kamilov B., Karimov B., Keyser D. The modern state of fisheries in the Republic of Uzbekistan and its perspectives // World Aquaculture. 2004. See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/288839227>
11. Мустафаева З. А., Мирзаев У. Т. Видовой состав гидробионтов озер Бухарской области Узбекистана // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). 2018. Vol. 4. No. 32.
12. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. 4-е изд. Пищевая промышленность. 1966. С. 376.
13. Лакин Г. Ф. Биометрия. Учебник для вузов биологических специальностей. 4-е изд. 1990. С. 352.

НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

А. К. Мальцева, Е. К. Мальцева, Н. С. Лунандина

Белгородский государственный технологический университет

имени В. Г. Шухова,

alinamaltseva11@gmail.com, elenamaltseva@yandex.ru, esnataa@mail.ru

В современном мире остро стоит проблема изменения климата, а именно – рост средней температуры атмосферы земли, связанный с парниковым эффектом, который вызван повышением концентрации ряда газов, в том числе и углекислого, одним из источников которого являются животные и продукты их жизнедеятельности. Группой исследователей был произведен расчет парниковых газов, поступающих в атмосферу от свинокомплекса, расположенного в Красногвардейском районе Белгородской области.

Ключевые слова: животноводство, свинокомплекс, парниковые газы, метан, диоксид углерода, парниковый эффект.

Производство продукции животноводства оказывает существенное негативное влияние на окружающую среду. Во-первых, земли вокруг подобных производств значительно ухудшаются. Во-вторых, высокая плотность поголовья скота на ограниченных площадях приводит к образованию огромных объемов навоза и выбросов метана.

Основными загрязняющими веществами (ЗВ), поступающими в атмосферу от объектов животноводства, которые могут привести к экологическим катастрофам являются: аммиак (NH_3); метан (CH_4), образующийся в результате внутренней ферментации; а также метан и закиси азота (N_2O) от систем сбора и хранения навоза [1].

Парниковые газы – газообразные составляющие атмосферы природного и антропогенного происхождения, которые задерживают тепло и тем самым способствуют повышению глобальной температуры за счет парникового эффекта [2, 3].

Наиболее распространенными парниковыми газами в атмосфере Земли являются: водяной пар (H_2O); углекислый газ (CO_2); метан (CH_4); окись азота (N_2O); озон (O_3); хлорфторуглероды [4].

Метан – один из значимых представителей органических веществ в атмосфере, а также один из важных парниковых газов (ПГ), оказывающих влияние на глобальный климат. Он способен оставаться в атмосфере от 9 до 15 лет, при этом он эмитируется многочисленными природными и антропогенными источниками, задерживая в атмосфере тепла за 100 лет, примерно, в 20 раз больше, чем диоксид углерода [5].

Во всем мире на выбросы метана приходится около 40–45% выбросов ПГ от жвачных животных, причем более 90% этих выбросов приходится на кишечную ферментацию, т. е. на пищеварительный процесс. Следовательно, выбросы кишечного CH_4 на сегодняшний день являются единственным наиболее важным источником выбросов, на который можно нацелиться для смягчения последствий в рамках производственного цикла жвачных животных [6].

Следующим ПГ, выделяемым от животных, является углекислый газ. Выбросы углекислого газа, в основном, происходят в неуправляемых процессах (например, дыхание животных), а также от использования невозобновляемых источников энергии. При содержании свиней доля в общих выбросах CO_2 от использования ископаемого топлива составляет 13–37% (данное топливо затрачивается на обогрев помещения), при содержании коров – 7% [7].

В общих антропогенных выбросах доля углекислого газа от сельскохозяйственного производства оценивается менее чем в 4%. Кроме того, в формировании парникового эффекта потенциал глобального потепления CO_2 в 23 раза меньше, чем у метана, и в 300 раз меньше, чем у закиси азота, поэтому

его влиянием на климат при оценке технологий производства сельскохозяйственной продукции обычно пренебрегают [8].

В данной работе был произведен расчет объемов выбросов парниковых газов от свиного комплекса, находящегося в Красногвардейском районе Белгородской области, а также были предложены мероприятия по снижению негативного воздействия предприятия на окружающую среду.

Расчет максимального и валового выбросов ЗВ в атмосферный воздух от содержания животных выполнен на основании «Рекомендаций по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от объектов животноводства и птицеводства». СПб., 2015 [9].

Результаты расчета представлены в таблицах 1–2.

Таблица 1

Расчет выбросов ЗВ от содержания животных

Код	Наименование ЗВ	Максимально разовый выброс, г/с	Валовый выброс, т/г
Корпус № 1–4			
410	Метан	0,4761395	13,9503616
–	Углерод диоксид	28,568368	837,021694
Корпус № 5			
410	Метан	0,2380697	6,9751808
–	Углерод диоксид	14,2841841	418,510847

Таблица 2

Расчет выбросов ЗВ от цельного навоза и твердой фракции навоза в местах его хранения

Код	Наименование ЗВ	Максимально разовый выброс, г/с	Валовый выброс, т/г
От лагуны № 1 объемом 12 500 м ³			
410	Метан	0,4696352	14,0428653
–	Углерод диоксид	28,1781134	842,5719159
От лагуны № 2 объемом 16 000 м ³			
410	Метан	0,6011329	17,9748658
–	Углерод диоксид	36,0679762	1078,491948

Суммарные выбросы парниковых газов по категориям источников и организации в целом рассчитываются с учетом потенциалов глобального потепления парниковых газов и выражаются в CO₂-эквиваленте. Расчет выполняется по формуле:

$$E_{CO_2e,y} = \sum_{i=1}^n (E_{i,y} \cdot GWP_i),$$

где: E_{CO_2} – выбросы парниковых газов в CO₂ – эквиваленте за период у, т CO₂-эквивалента; $E_{i,y}$ – выбросы i парникового газа за период у, т; GWP_i – потенциал глобального потепления i парникового газа, т CO₂-эквивалента/т; n – количество видов выбрасываемых парниковых газов; i – CO₂, CH₄, N₂O, CHF₃, CF₄, C₂F₆, SF₃.

Значения потенциалов глобального потепления (GWP_i) приведены в приложении № 3 к методическим указаниям [9].

$$E_{CO_2} = 62,7766 \cdot 25 = 1569,4157 \text{ т/год.}$$

На основании произведенных расчетов создана таблица расчета парниковых газов (табл. 3), в которую сведены все полученные данные.

Таблица 3

Расчет парниковых газов

Наименование источника выделения ЗВ	Парниковый газ	Расчет количества выделяемых ПГ	Количество выбросов ЗВ, т/год
Корпуса содержания свиней	Метан в CO ₂ – эквиваленте	$G = 62,7766 \cdot 25 =$	1569,4157
	CO ₂	$G = 418,5108 + (837,0217 \cdot 4) =$	3766,5976
Лагуны	Метан в CO ₂ – эквиваленте	$G = (14,0429 + 17,9749) \cdot 25 =$	800,445
	CO ₂	$G = 842,5719 + 1078,4919 =$	1921,0639
Всего			8057,5222

Таким образом, общее количество парниковых газов, выделяемых за 2021 г. от свиного комплекса, расположенного в Красногвардейском районе Белгородской области составляет 8057,5222 т.

Согласно данным Всемирной метеорологической организации (ВМО), концентрации парниковых газов, углекислого газа и метана, достигли рекордных значений за 2021 год. Например, концентрация CO₂ равняется 415,1 части на миллион, а метан составил 1908 частей на миллиард. На животноводство приходится примерно 14,5% всех выбросов парниковых газов в атмосферу. К 2030 г. ученые прогнозируют рост показателя до 49% [10, 11].

Основные мероприятия, которые позволят минимизировать выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух на свином комплексе: применение закрытой системы удаления, транспортировки и хранения навозных стоков; установка фильтров грубой и тонкой очистки на вытяжных шахтах и вентиляторах; снижение годового выхода навоза на свиноводческих предприятиях [12–15].

Библиографический список

1. Предпосылки для внедрения системы НДТ производства молока и мяса крупного рогатого скота России / А. Ю. Брюханов, Э. В. Васильев, Н. П. Козлова, Е. В. Шалавина // АгроЭкоИнженерия. 2019. № 1 (98). С. 156–158. doi:10.24411/0131-5226-2019-10133
2. Global mitigation of non – CO₂ greenhouse gases: marginal abatement costs curves and abatement potential through 2030 / Sh. A. Ragnauth, J. Creason, J. Alsalam, S. Ohrel, J. E. Petrusa, R. H. Beach // R.D. Journal of Integrative Environmental Sciences. 2015. Vol. 12, sup No. 1. P. 155–168. doi: 10.1080/1943815X.2015.1110182
3. Чомаева М. Н., Узденова Х. И., Салпагарова З. И. Оценка влияния парникового эффекта на состояние биосферы // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 4–1. С. 6–9. doi: 10.24412/2500-1000-2022-4-1-6-9
4. Щербань А. В. Парниковый эффект и его воздействия на окружающую среду // Экономика и экология территориальных образований. 2021. № 2. С. 59–65. doi: 10.23947/2413-1474-2021-5-2-59-65

5. Громов А. Стратегия ЕС по сокращению выбросов метана: новые вызовы для российского газа // ЭП. 2021. № 5 (159). С. 26–39. doi: 10.46920/2409–5516_2021_5159_26
6. Strategies to reduce greenhouse gases from ruminant livestock / S. J. Meale, T. A. McAllister, K. A. Beauchemin, O. M. Harstad, A. V. Chaves // *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*. 2012. P. 199–211. doi: 10.1080 / 09064702.2013.770916
7. Гриднев П. И., Гриднева Т. Т., Колесникова Т. Н. The methodological guidelines of ecological assessment of manure cleaning systems and its preparation to use // *Техника и технологии в животноводстве*. 2017. № 3 (27). С. 136–145. doi: 10.24411/2226-4302-2017-00115
8. Гриднев П. И., Гриднева Т. Т. Эмиссия парниковых газов и аммиака из навоза в процессе уборки и подготовки его к использованию // *Техника и технологии в животноводстве*. 2017. № 1 (25). С. 25–33. doi: 10.24411/2226-4302-2017-00037
9. Рекомендации по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от объектов животноводства и птицеводства. СПб. : НИИ Атмосфера, 2015. 32 с.
10. Masson D., Zhai H., Pörtner D. Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty World Meteorological Organization. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (дата обращения: 26.10.2022).
11. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (дата обращения: 26.10.2022).
12. Havlikova M., Kroeze C. The role of non-CO2 greenhouse gases in cost-effective strategies to reduce pollution by dairy cattle in the Czech Republic // *Journal of Integrative Environmental Sciences*. 2010. Vol. 7, sup No. 1. P. 269–277. doi: 10.1080 / 19438151003621383
13. Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики / Л. В. Пилип, В. А. Козвонин, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 3. С. 161–167. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-161-167
14. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Пилип // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. № 2. С. 113–120. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
15. Производство биоорганических 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. doi: 10.25750/1995-4301-2017-3-085-090

РОСОМАХА В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О. В. Масленникова

*Вятский государственный агротехнологический университет,
olgamaslen@yandex.ru*

В данной статье мы обобщили имеющиеся данные и свои исследования по росомахе в Кировской области. Росомаха регистрируется не только в северных районах области, но и в центральных. Личинки трихинелл в мышцах обнаружены у двух из трех исследованных росомах, в легких зарегистрирована видоспецифическая нематода барсука – *Perostrongylus falciformis*.

Ключевые слова: росомаха, Кировская область, распространение, морфометрия, трихинеллез.

Кировская область для росوماхи (*Gulo gulo* L.) – южная граница ее ареала. Росомаха – самый крупный представитель наземных кунных. Крупнее росوماхи только калан, обитающий в морских экосистемах.

Хотя росомаха принадлежит к семейству кунных, по внешнему виду она напоминает скорее небольшого медведя, чем куницу. Это сравнительно крупный, коренастый и с виду неуклюжий зверь. Длина тела 75–85 см, хвоста – 18–20 см, высота в плечах 40–45 см, вес 10–20 кг. Туловище массивное, толстое; голова крупная, с небольшими закругленными ушами и широким носом. Ноги короткие, сильные, с широкой пятипалой лапой, вооруженной длинными, слабо изогнутыми когтями. Густой, длинный и грубый мех росوماхи обладает замечательным свойством. Даже в самые лютые морозы он не индевет, позволяя зверю устраиваться на ночевку прямо на снегу, под открытым небом. Окраска меха черно-бурая с сильным блеском, по бокам тела от плеч до хвоста тянется широкая желтоватая или белесая полоса («шлея»), лоб и щеки светлее туловища.

Передвигаются росوماхи шагом, рысью или скачками. Следы ее очень похожи на следы медвежонка, но отличаются четким отпечатком пальцев и когтей и значительной шириной (длина следа до 15, ширина до 12 см) [1].

В Кировской области росомаха – зверь относительно редкий. Каких-либо сведений, научных данных по росوماхе Кировской области сравнительно мало. Чаще росوماху регистрируют в северо-западных и северо-восточных районах Кировской области: Верхнекамском, Афанасьевском, Лузском, Мурашинском, Опаринском, Нагорском.

По результатам зимнего маршрутного учета 2022 г. на территории Кировской области зарегистрировано 11 росوماх. 17 декабря 2016 г. росوماху удалось снять жителям в Верхнекамском районе между тремя населенными пунктами: Рудничным, Ожмегово и Светлополянским. Она посетила охотничью избушку, нашла спрятанное лосиное мясо возле избушки. По нашим данным в последние годы хищники были добыты охотниками в таких районах, как Белохолуницкий (2 самца), Мурашинский (самка) и Слободской.

В Белохолуницком районе один самец был добыт в первых числах ноября 2011 г., мы исследовали его только на наличие личинок трихинелл в мышцах. Трихинеллез мы не обнаружили. Вторая росомаха самец из этого же района была добыта весной 12 мая 2019 г. на территории охотхозяйства НООХ ВНИИОЗ (научно-опытное охотничье хозяйство Всероссийского научно-исследовательского института охотничьего хозяйства и звероводства) на опушке леса юго-восточнее села Быданово. За помощью обратились жители. Первоначально думали, что на пасеку ходит медведь. Он раскидал все ульи, что были на пасеке, достал из них рамки. В итоге был добыт взрослый самец росوماхи массой 14 кг. Без шкуры и головы масса туши составила 12 кг. Нам удалось сделать биологическое и полное гельминтологическое

вскрытие этой особи. Масса взрослой самки из Мурашинского района составила 10 кг. Она была добыта 17 ноября 2018 года. Длина тела ее составила 84 см.

Кроме того, охотоведы из Слободского района зарегистрировали в 2019 г. выводок росوماхи в летне-осенний период, а в январе 2021 года охотником из Слободского района была сдана заготовителям шкура росوماхи, что подтверждает присутствие ее в данном районе.

Все росوماхи были исследованы на наличие личинок трихинелл в мышцах. Из трех росوماх, исследованных нами, личинки трихинелл обнаружены у 2 взрослых росوماх из Белохолуницкого и Мурашинского районов. Интенсивность инвазии у самца составила 12,7 личинок в 1 г мышечной ткани, у самки – 16,7 личинок в 1 г мышц.

Морфометрические показатели нам удалось снять с сеголетка самца росوماхи, добытого в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа (табл. 1). По данным П. И. Данилова, И. Л. Туманова [2] молодые росوماхи в возрасте 6–7 месяцев по своим размерам и некоторым физиологическим параметрам мало отличаются от взрослых особей. В то же время возрастные изменения морфометрических показателей выражены у росوماхи более отчетливо, чем у других кунных, что может объясняться разницей в весе молодых и старых особей. Эти изменения характеризуются закономерным увеличением абсолютного и снижением относительного веса основных внутренних органов с увеличением возраста животных. Не совсем корректно сравнивать зверей из разных популяций, но, тем не менее, основные положения, выдвинутые П. И. Даниловым и И. Л. Тумановым [2], подтверждаются (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1

Основные морфометрические показатели взрослой и молодой росوماхи

Показатели	Масса зверя, кг	Длина тела, см	Длина туловища, см	Обхват туловища, см	Длина хвоста, см	Длина ступни, см	Длина бакулюма, см
Белохолуницкий р-н Кировской обл. ♂ взр.	14	81	48	46	21	16,5	8,8
Тазовский р-он Ямало-Ненецкого АО ♂ 0+	6,4	84	51	37	–	15	6,9

Как следует из таблицы, размерные показатели сеголетка практически соответствуют взрослой особи. Превышение некоторых показателей у сеголетка можно объяснить разными местообитаниями особей.

Таблица 2

Интерьерные показатели росомах (абсолютные и относительные)

Показатели	Масса печени в г/отн ос.величина	Масса сердца в г/отн ос.величина	Масса почек: лев./пр. в г/отн. велич.	Масса легких в г/отн ос.величина	Масса селезенки в г/относ велич.	Семенники лев./пр. в г/отн. велич.	Масса пустого желудка в г	Длина кишечника, см
Белохолуницкий р-н Кировской обл. ♂ взрослый	379,6/27,1	152,5/10,9	57,5/56,2 4,1/4,0	230,7/16,5	30,7/2,1	10,8/9,3	119,4/8,5	600
Тазовский р-он Ямало-Ненецкого АО ♂ 0+ сеголеток	176,6/27,6	63,0/9,8	21,9/23,5 3,4/3,67	101,0/15,8	16,0/2,5	0,5/0,5	76,4/11,9	571

Несмотря на разные абсолютные показатели массы внутренних органов, относительные показатели очень близки, что также подтверждает данные П. И. Данилова и И. Л. Туманова [2].

При исследовании питания взрослого самца, пировавшего на пасеке в Белохолуницком районе, выяснилось, что желудок был практически пустой – с пищей масса его составила 137,2 г, пустого – 119,4 г (табл. 1). В желудке останки лося (копыто), возможно падаль. У тазовского молодого самца в желудке обнаружена шерсть северного оленя и растительные остатки.

Паразитофауна исследованного самца из Кировской области бедна. В легких обнаружены нематоды *Perostrongylus falciformis* – типичный паразит барсука. В мускулатуре диафрагмы зарегистрирована личиночная стадия скребня, а также личинки трихинелл в мышцах.

Таким образом, росомаха в Кировской области регистрируется не только в северных районах подзоны средней тайги, но в последние годы выявлена в подзоне южной тайги (Слободской район), и, по-видимому, размножается на территории области. Две из трех исследованных росомах заражены личинками трихинелл (12,7 и 16,7 лич. в 1 г мышц). В легких обнаружена нематода – *Perostrongylus falciformis*.

Библиографический список

1. Ивантер Э. В. Млекопитающие. 3-е изд., испр. и доп. Петрозаводск, 2001. С. 154–156.
2. Данилов П. И., Туманов И. Л. Куньи северо-запада СССР. Ленинград : Наука, 1976. С. 154–169.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОВЕДЕНИЯ ВОЛКОВ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В. В. Масленникова, О. В. Масленникова

*Вятский государственный агротехнологический университет
mmvedmed@rambler.ru, olgamaslen@yandex.ru*

В статье дан анализ трансформации поведения вятских волков в современных условиях, которое выражается в синантропизации хищника, потерей страха перед человеком. Одна из главных причин – высокая численность хищника. В результате синантропные волки посещают с ранней осени населенные пункты, добывают собак, несмотря на наличие копытных в угодьях.

Ключевые слова: вятский волк, поведение, регуляция численности, собаки, копытные, синантропизация

Волк, как и все хищные млекопитающие, – неотъемлемый компонент природных биоценозов. Полное уничтожение этого хищника в ряде европейских стран не принесло желаемого результата. Освободившуюся экологическую нишу заняла лисица. За этим последовал рост случаев бешенства и распространение опасного для человека зооноза – альвеококкоза.

В России полное уничтожение этого хищника невозможно, хотя такие попытки в ряде регионов наблюдались. Численность волка, как и любого крупного хищника, на трансформированных территориях следует держать под контролем, что практически на современном этапе сложно выполнить. Это связано с тем, что редуют кадры охотников, способных вести планомерную борьбу с волком. К тому же это «удовольствие» дорого стоит и не все охотники и охотколлективы имеют средства для контроля над численностью хищника. Для организации успешных охот на волка необходимы опыт и знания, как повадок хищника, так и способов его добычи, а также организаторские способности.

Принятые в последнее десятилетие законы сократили сроки охоты на волка, ввели специальные разрешения на его добычу. 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 г. в Кировской области внедряется премия за добытого волка. Об эффективности этих мер судить пока рано, но увеличение сроков охоты на волка необходимо, т.к. основное количество хищника добывалось после закрытия охот на других представителей фауны – в конце февраля и начале марта. До ужесточения законов на добычу волка – он мог добываться в течение всего года.

Ослабление контроля над численностью волка привели к тому, что волк стал посещать населенные пункты с ранней осени. Цель нашего исследования – объяснить данное поведение волка.

Мы исследовали трофоценотические связи волка (более 100 особей), проводили наблюдения на территории охотхозяйства Вятского ГАТУ, а также опрос респондентов – охотников и охотоведов. В работе использованы материалы зимних маршрутных учетов и добычи волка Управления охраны и использования животного мира.

Судить о количестве волка принято по проводимым учетам. Волк учитывается в основном по данным зимнего маршрутного учета. Другие способы учетов – учеты на вабу, по выводам в настоящее время практически не проводятся по изложенным выше причинам. Материалы учетов волка и их добыча исправляются и подгоняются. В конце 2021 г. нами были взяты в Управлении следующие данные по учетам и добыче волка (табл. 1).

Таблица 1

Численность и добыча волка в Кировской области

Показатели	Годы						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Численность, голов	240	214	337	296	291	345	
Добыто, голов		256	237	299	232	231	259

Как следует из данных таблицы 1, добывалось волка больше, чем учитывалось. Тем не менее, учет волка по добыче показывает относительное количество численности хищника. Эти данные были подкорректированы и весной 2022 г. на сайте Управления охраны и использования животного мира были совершенно другие цифры (табл. 2).

Таблица 2

Численность волка и его добыча в Кировской области

Показатели	Годы						
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Численность, голов	214	337	234	285	297	289	
Добыто животных, голов	128	73	134	185	146	162	259

По данным М. П. Павлова [1] высокая численность вятского волка наблюдалась в конце 70-х начале 80-х годов прошлого столетия. Например, в 1982 г. было добыто 602 волка, в 1985 – 620, а в 1979 г. 706 волков у (в 5 раз больше многолетней средней для периода 50–60-х годов).

Данные по добыче волка в табл.1 более соответствуют действительности. Наши исследования показали, что численность волка в первую очередь зависит от численности их жертв. Основным компонентом в пищевых цепях волка являются копытные [2–5]. Первоначально это был лось, в последнее десятилетие к лосю добавился кабан и даже превзошел его по встречаемости (рис.).

С середины 90-х годов численность лося в Кировской области начала резко сокращаться. С небольшим отставанием по времени стала сокращаться и численность волка, т.к. в тот период лось являлся основным звеном в трофических связях волка. При этом волк активно посещал свалки и скотомогильники [2]. В конце 90-х годов волк стал использовать в питании собак и некоторые стаи стали специализироваться в освоении данного ресурса. Соба-

ки, как правило, добывались в зимние месяцы, когда лось был практически недоступен [3].

Изменения поведения волка в последнее десятилетие можно объяснить усугубляющейся синантропизацией хищника. Так, в 1998 г. нами был исследован гибрид собаки и волка. Именно в этот период происходило снижение численности хищника. В 2002 г. по данным зимнего маршрутного учета Управления охраны и использования животного мира численность волка сократилась – следы хищника не выявлены в 15 районах области. В период с 2002 по 2006 гг. большинство исследованных нами волков имели низкую упитанность, отсутствие жировых отложений.

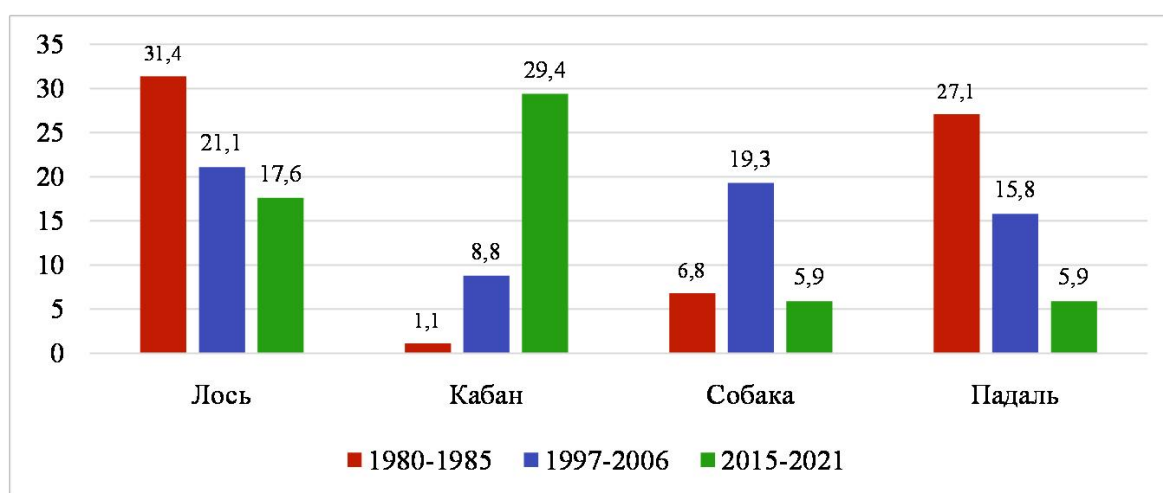


Рис. Соотношение основных пищевых компонентов волка по встречаемости по данным И. С. Козловского [2], О. В. Масленниковой [3] и нашим данным [5]

Ситуация изменилась в последнее десятилетие. Начиная с ранней осени, волк стал посещать населенные пункты, места свалок и контейнеров для мусора, уничтожать собак. При этом численность копытных в лесах (лось, кабан) оставалась на оптимальном уровне. Мы считаем, этому способствовала потеря боязни перед человеком, а также высокая численность волка в угодьях. Кормовые специализации волчьих стай на добыче собак свидетельствуют о синантропизации волка Кировской области. Крупные сельскохозяйственные животные (крупный рогатый скот и лошади) волкам недоступны. Собаки – более легкая и доступная добыча, чем дикие копытные, поэтому обучение охоте молодых волков происходит в населенных пунктах[6].

Хорошая кормовая база хищника способствует его высокой плодовитости. В 2019 году, по сообщению охотоведа Е. Зориной, в Фаленском районе было найдено логово волчицы с 10 щенками. В охотхозяйстве Вятского ГАТУ, площадью 30 тыс. га, в последние 2 года регистрируется 3 волчьих выводка, тогда как оптимальным является 2 выводка [3], которые регистрировались на протяжении последних 40 лет. Данные факты могут свидетельствовать о высокой численности хищника.

По исследованиям А. Н. Кудактина [4] популяции волков как синантропных, так и с «диким» типом питания, способны восстанавливаться даже при потере 50–60% численности при сохранении репродуктивного ядра. Только значительное сокращение числа репродуктивных самок приводит к сокращению численности хищника.

Таким образом, в Кировской области увеличивается количество синантропных волков, стаи которых посещают населенные пункты с ранней осени. Этому способствует в первую очередь высокая численность хищника и недостаточный его отстрел в разрешенные сроки.

Библиографический список

1. Павлов М. П. Волк. М. : Агропромиздат, 1990. 351 с.
2. Козловский И. С. Зимнее питание волка Северо-Востока Европейской части СССР // Воспроизводство, использование и охрана диких зверей и птиц : сб. науч. трудов Пермь, 1986. С. 26–29.
3. Масленникова О. В. Роль волка в регуляции численности собак // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию ВНИИОЗ. Киров, 2007. С. 267–268.
4. Кудактин А. Н. Волк Западного Кавказа. Ростов н/Д : Южный издательский дом, 2019. 299 с.
5. Масленникова О. В., Масленникова В. В. Трофические связи волка на Севере Черноземья // Вестник Вятского ГАТУ. 2021. № 4 (10).
6. Масленникова О. В., Масленникова В. В. Синантропизация вятского волка // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию института и 150-летию со дня рождения основателя и первого директора института, профессора Бориса Михайловича Житкова. Киров, 2022. С. 105–108.

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ОРГАНИЗМЕ РЫБ РЕКИ УРАЛ

Д. И. Мустакимова¹, Р. Ф. Хасанова²

¹ ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»,
sharanova1997@bk.ru

² ГАНУ «Институт стратегических исследований
Республики Башкортостан» Сибайский филиал, rezed78@mail.ru

Представлены результаты исследования накопления тяжелых металлов в организме рыб реки Урал, протекающей по территории Оренбургской области, на примере леща обыкновенного (*Abramis brama* L.). По накоплению тяжелых металлов выявлена следующая закономерность: в плавниках и скелете изученных элементов содержится больше, чем в плавательном пузыре. Наибольшими концентрациями в организме леща выделяются Fe, Zn, Mn.

Ключевые слова: река Урал, лещ обыкновенный (*Abramis brama* L.), тяжелые металлы, скелет, плавники, плавательный пузырь.

В настоящее время происходит деградация водных экосистем, что связано с антропогенным воздействием. Также причиной деструкции водных биоценозов являются природные факторы [1].

Тяжелые металлы (ТМ) перераспределяются между биотическими и абиотическими компонентами окружающей среды, взаимодействуя с многообразными категориями живых организмов, мигрируя по общей цепи веществ в водные объекты [2, 3].

Степень воздействия ТМ на организм рыб зависит от многих факторов, таких как окислительно-восстановительный потенциал, температура воды, сезонные факторы и физиологическое состояние организма [4].

По мнению ряда исследователей биологическая роль ТМ для рыб в полном объеме еще не известна. При дефиците в организме микроэлементов осуществляется их замена ТМ и, как следствие, происходит их накопление внутри организма, которое зависит от характера питания и интенсивности обменных процессов гидробионтов, относящихся к различным экологическим группам. Для представителей ихтиофауны одним из основных источников поступления в организм ТМ является среда обитания, а именно водный объект [5, 6].

Территория бассейна реки Урал является очень важной для расположенных вдоль нее индустриально-аграрных районов. На фоне этого река испытывает огромную антропогенную нагрузку. Максимальным уровнем техногенной трансформации отличается верховье реки Урал (в пределах Республики Башкортостан и Челябинской области) и среднее течение реки на участке Орск-Оренбург [7].

Целью работы является изучение содержания ТМ в органах и тканях леща обыкновенного (*Abramis brama* L.), обитающего на территории Оренбургской области.

Сбор материала осуществляли летом 2021 г. Рыбу отлавливали с помощью ставных жаберных сетей. Концентрацию металлов в тканях и органах леща обыкновенного (*Abramis brama* L.) сравнивали с нормативами (СанПиН 2.3.2.1078-01) [8] и данными, представленными А. С. Вагановым [9].

При рассмотрении закономерностей содержания ТМ в органах и тканях леща обыкновенного (*Abramis brama* L.) выявлено, что наибольшее содержание характерно для Fe, особенно в плавниках его количество превышает ПДК в 2,1–28,6 раз (табл.). В плавательном пузыре и скелете концентрация данного металла ниже в 1,7–1,8 раза.

Количество Mn превышает ПДК (10 мг/кг) во всех изученных органах и тканях, причем в плавниках данного элемента содержится больше, чем в других изучаемых органах и тканях. В плавательном пузыре содержание Zn не превышает значений ПДК (40 мг/кг), в скелете выявлено превышение в 1,3 ПДК, в плавниках – 1,9 ПДК. Кроме того, в пробах отмечается высокое содержание Cd. В плавательном пузыре его концентрация составляла $0,47 \pm 0,05$ мг/кг, что в 4 раза выше ПДК. В скелете и плавниках превышение

ПДК было в 3,5 раза. Содержание Cu во всех изучаемых органах и тканях не превышает допустимые нормы.

Таблица

**Концентрации тяжелых металлов в тканях и органах
(*Abramis brama* L.), мг/кг (среднее $\pm$ стандартное отклонение)**

Металлы	Плавательный пузырь	Плавники	Скелет	ПДК
Cu	1,16 $\pm$ 0,08	0,94 $\pm$ 0,08	1,52 $\pm$ 0,28	10
Zn	32,33 $\pm$ 4,48	75,66$\pm$0,88	52,00$\pm$3,06	40
Fe	276,66$\pm$128,8	332,00$\pm$256,5	326,33$\pm$82,53	30
Mn	10,20$\pm$2,86	53,66$\pm$5,81	32,00$\pm$10,15	10
Cd	0,47$\pm$0,05	0,36$\pm$0,07	0,35$\pm$0,08	0,1

Примечание: жирным шрифтом отмечено значительное превышение ПДК.

Выявленные закономерности накопления тяжелых металлов в организме леща обыкновенного (*Abramis brama* L.) объясняются его придонным образом жизни, так как аккумуляция ТМ происходит вследствие суммарного эффекта их накопления из воды, донных отложений и поедаемого рыбами корма.

Исследование выполнены в рамках выполнения государственного задания ГАНУ ИСИ РБ на 2022 год.

Библиографический список

1. Кляшторин Л. Б. Тихоокеанские лососи: климат и динамика запасов // Рыб. хозяйство. 2000. № 4. С. 32–34.
2. Лукин А. А. Приспособительные реакции и патогенез рыб Европейского Севера России при антропогенном воздействии : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : СПб., 2001. 46 с.
3. Евтушенко Н. Ю., Малышева Т. Д., Шаповал Т. П. Закономерности поступления в организм и накопление тяжелых металлов в тканях рыб // Тезисы докладов I Всероссийской конференции по рыбохозяйственной токсикологии. Рига, 1988. Ч. 2. С. 132–133.
4. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах: монография / О. А. Давыдова, Е. С. Климов, Е. С. Ваганова, А. С. Ваганов. Ульяновск : УлГТУ, 2014. 167 с.
5. Карпенко Л. Ю., Енукашвили А. И., Андреева А. Б. Возрастная динамика содержания микроэлементов в волосяном покрове лошадей // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2014. № 3 (49). С. 196–197.
6. Гилева Т. А., Костицына Н. В. Характеристика периферической крови и содержания тяжёлых металлов в органах и тканях окуня водоёмов бассейна р. Камы // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 2. С. 46–51. doi: 10.25750/1995-4301-2014-2-046-051
7. Чибилёв А. А. Бассейн Урала: история, география, экология. Екатеринбург : УрО РАН, 2008. 410 с.
8. СанПиН 2.3.2.1078–01 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». М., 2002. 216 с.
9. Ваганов А. С. Содержание тяжелых металлов в тканях и органах промысловых рыб Куйбышевского водохранилища // Вестник Нижневартковского университета им. Н. И. Лобачевского. 2011. № 2(2). С. 25–28.

МАКРОЗООБЕНТОС В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА СВЯТОЕ КОСТРОМСКОГО РАЙОНА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. И. Родина, Е. А. Урекин, Т. Л. Соколова
ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»,
rolik.2121@mail.ru

В статье представлены результаты исследования сообществ макрозообентоса озера Святое на территории Костромского района Костромской области. Приведен таксономический состав и количественная характеристика зообентоса, а также результаты оценки экологического состояния озера по показателям макрозообентоса с использованием индекса Пантле-Букка.

Ключевые слова: макрозообентос, биоразнообразие, численность, биомасса, трофическая структура, биоиндикационные индексы, сапробность.

В настоящее время большое значение приобретает использование зообентоса в целях биоиндикации качества вод малых рек, прудов, озёр. Донные беспозвоночные и их сообщества являются чувствительными индикаторами загрязнения биогенными и токсическими веществами, закисления и эвтрофикации водных объектов. Среди зообентоса выделяют макрозообентос, который имеет достаточно крупные размеры, что облегчает распознавание и идентификацию данной группы гидробионтов.

Озеро Святое расположено на окраине села Некрасовское, рядом с устьем реки Костромы, вблизи от Ипатьевского монастыря и является историческим памятником.

Актуальность исследования объясняется недостаточной изученностью зообентоценозов и экологического состояния озера Святое, а также важностью изучения влияния антропогенной нагрузки на данный естественный водный объект.

Целью исследования явилось изучение качественного и количественного состава макрозообентоса озера Святое Костромского района Костромской области с последующей экологической оценкой изучаемого водоема.

Материалом для исследования послужили пробы зообентоса, отобранные в озере Святое в летний период 2021–2022 года. Всего было отобрано 12 количественных и 12 качественных проб макрозообентоса.

Сбор бентосных организмов проводили по общепринятым в гидробиологии методикам [1, 2]. Количественные показатели (численность и биомасса) пересчитывались на 1 м^2 [1]. Определение видового состава проводилось с помощью определителей таких авторов, как С. Я. Цалолихин [3], Б. М. Мамаев [4], Л. А. Кутикова [5]. Для оценки экологического состояния озера использованы индекс сапробности Пантле-Букка в модификации

М. В. Чертопруда [6], для выявления видового сходства использовали коэффициент Жаккара.

За период исследования было обследовано 266 экземпляров зообентонов, относящихся к 3 типам (Annelida, Mollusca, Arthropoda), 4 классам (Clitellata, Gastropoda, Bivalvia, Insecta) и 16 семействам. Видовой состав сообществ макрозообентоса за период исследования представлен в таблице 1.

Таблица 1

Видовой состав зообентоса исследованного водоема

Таксон	Июнь 2021	Август 2021	Июнь 2022
Класс CLITELLATA			
Отряд HIRUDINEA			
<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Erpobdella octoculata</i> (Linnaeus, 1758)			+
Класс GASTROPODA			
<i>Viviparus (Contectiana) contectus</i> (Millet, 1813)	+	+	+
<i>Viviparus viviparus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Lymnaea stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Lymnaea ovata</i> (Draparnaud, 1805)	+	+	+
<i>Lymnaea auricularia</i> (Linnaeus, 1758)	+		+
<i>Lymnaea truncatula</i> (O. F. Muller, 1774)	+	+	
<i>Bythinia tentaculata</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Planorbarius corneus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
<i>Anisus vorticulus</i> (Troschel, 1834)			+
<i>Cincinna antiqua</i> (Morris in Morris et Sowerby, 1838)	+	+	
<i>Physa fontinalis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	
Класс BIVALVIA			
<i>Sphaerium</i> sp. (Scopoli, 1777)	+	+	+
<i>Pisidium</i> sp. (Pfeiffer, 1821)	+	+	+
Класс INSECTA			
Отряд ODONATA			
<i>Enallagma cyathigerum</i> (Charpentier, 1840)		+	
<i>Agrion virgo</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	
Отряд DIPTERA			
<i>Ceratopogonidae</i> gen. sp. (Newman, 1834)	+	+	+
Отряд EPHEMEROPTERA			
<i>Cloeon dipterum</i> (Linnaeus, 1761)	+	+	
<i>Baethis rhodani</i> (Pictet, 1843)	+	+	
Отряд TRICHOPTERA			
<i>Limnephilus</i> sp. (Leach in Brewster, 1815)			+
Отряд COLEOPTERA			
<i>Haliphus</i> sp. (Latreille, 1802)			+

Таким образом, в июне 2021 г. нами обнаружено 17 видов представителей макрозообентоса, в августе 2021 г. – 17 видов, в июне 2022 года – 15 видов.

В течение всего периода исследования в пробах преобладали моллюски, среди которых наибольшее видовое разнообразие отмечено для гастропод, что может быть связано с полупроточностью водоема, берега которого зарастают макрофитами, наблюдается накопление органики. Среди брюхоногих моллюсков по количеству видов доминирует семейство Lymnaeidae. Однако более часто встречаются представители семейств Viviparidae и Bithyniidae. Субдоминантной группой являются представители класса Insecta, представленные личиночными формами. Среди насекомых по количеству видов доминирует отряд Ephemeroptera. Однако более многочисленны представители отряда Odonata. Редко встречались ручейники, не выявлены представители отряда Plecoptera, что, вероятно, является следствием слабой проточности водоема, поскольку течение необходимо для аэрирования дыхательных поверхностей наружных жабр. Количественно доминирующими видами являются *B. tentaculata* (Linnaeus, 1758) и *V. contectus* (Millet, 1813).

Индекс Жаккара, характеризующий степень видового сходства, составил 45%, что свидетельствует о соответствии видового состава за 2021 и 2022 гг.

Результаты обработки количественных проб представлены в таблице 2.

Таблица 2

Динамика количественных показателей за период исследования

Отбор проб	Численность (экз./м ²) $\bar{X} \pm SDx \text{ экз./м}^2$	Биомасса (г/м ²) $\bar{X} \pm SDx \text{ г/м}^2$
Июнь 2021	139,5±17,9	149,8±15,3
Август 2021	128,9±11,7	150,5±9,3
Июнь 2022	150,0±19,9	176,1±66,6

По результатам проведенного исследования наблюдается постепенное увеличение биомассы и численности макрозообентоса. Минимальный показатель биомассы выявлен в июне 2021 г., максимальный – в июне 2022 г. Следует отметить, что в июне 2022 г. наблюдалась значительная изменчивость численности брюхоногих моллюсков в различных точках отбора, что возможно, связано с различием в характере донных отложений и грунта, степенью зарастаемости, а также антропогенным влиянием на водоем.

По способу питания макрозообентос согласно классификации В. А. Яковлева разделяется на 6 трофических групп: грунтозаглатыватели, собиратели-детритофаги и факультативные фильтраторы, облигатные собиратели-фильтраторы, соскребатели, размельчители, активные хищники [7]. В сообществах зообентоса исследованного водоема выявлены различные экологические группы организмов по питанию (рис.).

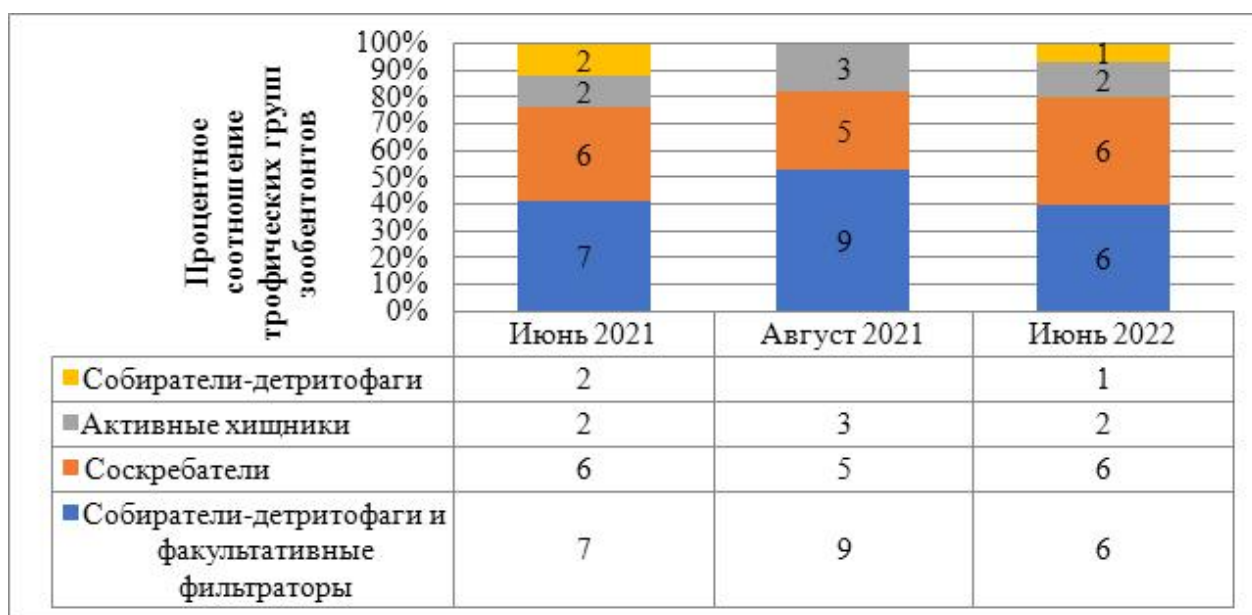


Рис. 1. Трофическая структура сообществ макрозообентоса озера Святое (цифрами обозначено количество видов той или иной трофической группы)

Таким образом, нарушений трофической структуры за период исследования не выявлено, поскольку процентное соотношение хищников (12–18%) не превышает процентное соотношение других групп трофической структуры в целом. Стоит подчеркнуть, что за период исследования в сообществах макрозообентоса больше всего представлены собиратели-детритофаги и факультативные фильтраторы – в основном, представители Viviparidae, Sphaeriidae и Valvatidae. Хищники же представлены пиявками и личинками стрекоз, которые качественно и количественно немногочисленны.

Для оценки состояния озера использовали индекс сапробности Пантле-Букка, результаты расчетов которого представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Значение индекса сапробности Пантле-Букка
(в модификации М. В. Чертопруда) и его соответствие качеству воды**

Отбор проб	Значение индекса Пантле-Букка	Зона сапробности
Июнь 2021	2,65	α-мезосапробная
Август 2021	2,62	α-мезосапробная
Июнь 2022	2,75	α-мезосапробная

Исследованный водоем можно охарактеризовать как α-мезосапробный (4 класс качества), в котором вода оценивается как загрязненная, что связано с зарастанием озера, а также с антропогенной нагрузкой.

Итак, всего за период исследования изучено 266 экземпляров бентонов, относящихся к 3 типам, 4 классам и 17 семействам. Наибольшее видовое разнообразие выявлено в 2021 г. и представлено 17 видами. За весь период исследования количество обнаруженных видов составило 22, среди которых доминировали брюхоногие моллюски. Малочисленны поденки, ручейники.

Наибольшее среднее значение биомассы наблюдалось в 2022 г., что, вероятно, связано с благоприятными условиями формирования сообществ зообентоса: оптимальное содержание кислорода, наименьший уровень загрязнения и т.д. Также это связано с наличием в озере крупных брюхоногих моллюсков, которые и формируют основную массу в количественных пробах. Самое низкое среднее значение биомассы характерно для 2021 г. Наибольшая средняя численность выявлена в 2022 г., доминирующими оказались моллюски семейства *Vithyniidae*, в особенности *Bythinia tentaculate*. Показатели средней численности характерны для июня 2021 г., в котором доминирующая роль принадлежит моллюскам семейства *Sphaeriidae*, относящихся к роду *Sphaerium*.

За период исследования нарушений трофической структуры не выявлено. Доминируют собиратели-детритофаги и факультативные фильтраторы (за весь период исследования количество видов данной экологической группы колебалось от 40 до 53% от числа все обнаруженных видов), субдоминантная трофическая группа – соскребатели (29–40% видов от общего числа за весь период исследования).

По индексу сапробности Пантле-Букка водоём можно охарактеризовать как α -мезосапробный (4 класс качества), в котором вода – загрязненная.

Дальнейшие перспективы исследования включают определение биотопических особенностей озера Святое и сезонный мониторинг состояния зообентоценозов, что особо актуально с происходящими сукцессионными изменениями исследуемой водной экосистемы.

Библиографический список

1. Биоиндикация водных экосистем : учебно-методическое пособие для студентов высших учебных заведений / М. В. Сиротина, Л. В. Мурадова, И. Г. Криницын, Г. А. Семенова. Кострома : Костромской государственной университет, 2018. 224 с.
2. Жадин В. И. Жизнь в реках. Бентос // Жизнь пресных вод СССР / под ред. Е. Н. Павловского и В. И. Жадина. Москва – Ленинград : АН СССР, 1950. Т. 3. С. 149–183.
3. Цалолихин С. Я. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / под ред. В. Р. Алексеева и С. Я. Цалолихина. Москва – Санкт-Петербург : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.
4. Мамаев Б. М. Определитель насекомых по личинкам : учебное пособие для биол. специальностей пед. ин-тов. М. : Просвещение, 1976. 304 с.
5. Кутикова Л. А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Планктон и бентос. Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. 511 с.
6. Чертопруд М. В. Модификация метода Пантле-Букка для оценки загрязнения водотоков по качественным показателям макробентоса // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 3. С. 337–342.
7. Яковлев В. А. Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика) в 2-х ч. Апатиты : Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. Ч. 2. 145 с.

МАТЕРИАЛЫ К ИХТИОФАНЕ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ «ОЗЕРО БОЛЬШОЙ УВАТ» В ВАГАЙСКОМ РАЙОНЕ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

В. М. Рябов

Вятский государственный университет, ryapitschi@yandex.ru

Для определения профиля памятника природы регионального значения «Озеро Большой Уват» в Вагайском районе Тюменской области необходима дополнительная информация о биологическом разнообразии водоема. Представлены данные о видовом составе ихтиофауны озера Большой Уват.

Ключевые слова: памятник природы регионального значения, ихтиофауна, Большой Уват, заморы, аборигенный вид.

Памятник природы регионального значения «Озеро Большой Уват» в Вагайском районе Тюменской области был образован 25.06.2021 г. в соответствии с Постановлением Правительства Тюменской области от 25.06.2021 № 356-п «О памятнике природы регионального значения «Озеро

Большой Уват» в Вагайском муниципальном районе». Ценность данного памятника природы заключается в том, что озеро является самым большим водоемом области по запасам пресной воды, пригодной для использования в хозяйственно-бытовых целях, и регулятором водного баланса прилегающих водно-болотных угодий. «Озеро Большой Уват» является важнейшим рыбохозяйственным водоемом Тюменской области и может быть использовано для формирования маточных стад ценных видов рыб, служит местообитанием водоплавающих и околоводных птиц, в т.ч. занесенных в Красные книги Тюменской области и Российской Федерации [1].

Однако, профиль данной особо охраняемой природной территории (ООПТ) в настоящее время не определен ввиду недостаточности кадастровой информации. В связи с этим в октябре 2022 г. на территории Вершинского сельского поселения Вагайского района Тюменской области проводили полевые исследования биологического разнообразия оз. Большой Уват.

Озеро Большой Уват, площадью 19 087,03 га, имеет неправильно-овальную форму со слабо изрезанной береговой линией. Его длина составляет 25 км, наибольшая ширина – 10,5 км. Глубина озера варьирует от 1,8 м до 5 м. В юго-западной части в него впадает р. Ариштол. С восточной стороны вытекает р. Вертинис (Ирдингиз). Вода оз. Большой Уват имеет среднюю минерализацию, относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, с нейтральной реакцией среды, мягкая, с высокими значениями перманганатной окисляемости и низким содержанием биогенов. Общий запас пресной воды в средний по водности год составляет 340 млн куб. м [1].

Ихтиофауна оз. Большой Уват за последние пятьдесят лет претерпела ряд трансформаций. Во время существования отделения Тобольского рыбза-

вода (далее рыбзавода) в озере в промышленных объемах разводили пелядь (сырка) – *Coregonus peled*, карпа – *Cyprinus carpio*, леща – *Abramis brama*, выпускали высокопродуктивные формы серебряного карася – *Carassius auratus*, щуки – *Esox lucius*. В результате численность некоторых аборигенных видов уменьшилась, а «промышленные» виды стали доминировать как по численности, так и по биомассе в ихтиоценозе озера. После прекращения деятельности рыбзавода прекратились работы по регулированию уровня (объема) воды в озере, мероприятия по предотвращению зимних заморов (местное название – загаров.). Исчезла пелядь, стала сокращаться численность щуки, карпа, леща, окуня. Далее приводим аннотированный список состава ихтиофауны оз. Большой Уват. Видовое название рыб и их систематическое положение представлено по Попову [2].

Класс Костные рыбы – Osteichthyes

Отряд Лососеобразные – Salmoniformes

Семейство Сиговые – Coregonidae

Пелядь (сырок) – *Coregonus peled* (Gmelin, 1789)

Сырка разводили в озере во времена существования рыбзавода. Вид чувствителен к зимним заморам. В настоящее время в озере не встречается.

Семейство Щуковые – Esocidae

Щука – *Esox lucius* (L., 1758)

Обычный немногочисленный вид. Во времена существования рыбзавода щуку разводили. Был осуществлен выпуск высокопродуктивных форм щуки (вероятно, речной). В результате гибридизации вид стал очень чувствительным к зимним заморам. Численность вида в настоящее время сокращается. Необходимо дополнительное морфологическое (генетическое) изучение популяции щуки оз. Большой Уват.

Отряд Карпообразные – Cypriniformes

Семейство Карповые – Cyprinidae

Карп – *Cyprinus carpio* (L., 1758)

Обычный немногочисленный вид. Был выпущен в озеро во времена существования рыбзавода. Численность вида в настоящее время сокращается. Размножается, отмечены все половозрастные группы. Известны случаи поимки карпов массой до 22 кг. Массовая гибель отмечается во время зимних заморов.

Лещ – *Abramis brama* (L., 1758)

Редкий вид. Был выпущен в озера во времена существования рыбзавода. Численность вида в настоящее время сокращается. Не размножается. Массовая гибель отмечается во время зимних заморов. Вероятно, через некоторое время исчезнет полностью.

Золотой карась – *Carassius carassius* (L., 1758)

Аборигенный вид. Обычный немногочисленный вид. По опросным данным в уловах встречается гораздо реже, чем серебряный карась.

Серебряный карась – *Carassius gibelio* (L., 1758)

Многочисленный массовый вид. Вероятно, в озере обитает две морфы: аборигенная и высокопродуктивная форма, вселенная в период работы рыбзавода, а так же вероятно их гибриды. Необходимо дополнительное морфологическое (генетическое) изучение популяции серебряного карася оз. Большой Уват. При визуальном осмотре уловов рыбаков отмечено большое морфологическое разнообразие. В уловах преобладают самки, самцы встречаются единично, что позволяет сделать предположение о размножении по типу гиногенеза.

Плотва (чебак) – *Rutilus rutilus lacustris* (Pallas, 1811)

Многочисленный массовый аборигенный вид. Достаточно экологически пластичен. Относительно устойчив к заморным явлениям. В практике рыбозаведения относится к «сорным» видам.

Обыкновенный язь – *Leuciscus idus* (L., 1758)

Редкий малочисленный аборигенный вид. Вероятно, не выдерживает пищевой конкуренции с серебряным карасем и чебаком, численность вида в настоящее время сокращается.

Обыкновенный пескарь – *Gobio gobio* (L., 1758)

Обычный довольно многочисленный аборигенный вид. Будучи реофильным видом [2] способен обитать в оз. Большой Уват, что косвенно указывает на наличие возможных подводных течений.

Верховка – *Leucaspius delineatus* (Heckel, 1843)

Многочисленный массовый заносный вид. Вероятно, был завезен с посадочным материалом. Достаточно экологически пластичен. Относительно устойчив к заморным явлениям. В практике рыбозаведения относится к «сорным» видам.

Семейство Окуневые – Percidae

Речной окунь – *Perca fluviatilis* (L., 1758)

Немногочисленный аборигенный вид. Не устойчив к заморным явлениям. Численность вида в настоящее время сокращается.

Обыкновенный ерш – *Gymnocephalus cernua* (L., 1758)

Немногочисленный аборигенный вид. Не устойчив к заморным явлениям. Численность вида в настоящее время относительно стабильна.

Таким образом, в оз. Большой Уват отмечено пребывание 11 видов рыб, из них: 7 видов аборигенные, 3 вида заносные, один вид с неясным статусом.

Библиографический список

1. Кадастровое дело № 061 Памятник природы регионального значения «Озеро Большой Уват» Вагайский район (рукопись). Тюмень, 2022. 20 с.
2. Попов П. А. Рыбы Сибири: распространение, экология, вылов : монография. Новосибирск : Новосиб. гос. ун-т, 2007. 526 с.

ФАУНА И НАСЕЛЕНИЕ ПТИЦ БАССЕЙНА РЕКИ ВОЙВОЖ-СЫНЯ (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ) В ПОСЛЕГНЕЗДОВЫЙ ПЕРИОД

Н. П. Селиванова

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

Горы и предгорья западного макросклона Приполярного Урала являются уникальной природной территорией, где до настоящего времени сохранились значительные площади ненарушенных ландшафтов. Большую часть этой территории занимает Национальный природный парк «Югыд ва» – входящий в систему особо охраняемых природных территорий (ООПТ) федерального значения, ключевых орнитологических территорий (КОТР) международного значения, территорий списка Всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Изучение фауны и населения птиц на таких территориях, дает возможность получить фоновые показатели биоразнообразия необходимые при организации мониторинга природной среды региона, разработке мероприятий по охране редких и находящихся под угрозой исчезновения видов птиц.

Ключевые слова: мониторинг, птицы, Приполярный Урал, национальный парк «Югыд ва».

Район исследований: бассейн верхнего течения р. Войвож-Сыня (правый приток второго порядка р. Уса) – расположен в центральной части Национального парка «Югыд ва». Облик рельефа горной части бассейна составляют вытянутые в северном направлении горные массивы северной части Исследовательского кряжа с абсолютными высотами 800–1000 м. В горной части бассейна р. Войвож-Сыня выражены высотные пояса растительного покрова: подгольцовый, горно-тундровый и гольцовый. Подгольцовый пояс представлен лиственничными редколесьями и березовыми криволесьями. В горно-тундровом поясе развиты ерниковые, кустарничковые, моховые, лишайниковые, каменистые и пятнистые тундры. Гольцы занимают вершины гор и горные плато, где встречаются в основном накипные лишайники.

Обширные данные по численности, распространению, систематике, фенологии, биологии и экологии птиц бассейна р. Войвож-Сыня (стационар «Академия») были получены А. А. Естафьевым в 1968–1972 гг. и представлены в обобщающей работе «Птицы западного склона Приполярного Урала» [1]. В 2022 году, с целью выявления пространственно-временные изменений, происходящие в природных сообществах бассейна р. Войвож-Сыня, нами было продолжено изучение популяций фоновых и редких видов птиц. В послегнездовый период 2022 г. были обследованы типичные местообитания в истоках р. Войвож-Сыня (район оз. Сыняты): пойменные ивняки и луговины, лиственничные и березовые редколесья, горные мохово-ерниковые и мохово-

лишайниковые тундры. Сбор информации осуществлялся по общепринятым зоологическим методикам в типичных местообитаниях с решением стандартных задач: выявление видового состава, характера пребывания, численности и территориального распределения птиц, установления мест обитания редких и охраняемых видов. Учеты птиц проводились с пересчетом на площадь по средне-групповой дальности их обнаружения по методике Ю. С. Равкина [2]. Общая протяженность маршрутных учетов составила около 30 км.

Анализ литературы [1, 3] и наших данных показал, что фауна птиц Приполярного Урала насчитывает 171 вид относящихся к 12 отрядам. Наиболее разнообразно из них представлены отряды: Воробьинообразные (Passeriformes) – 46%, Ржанкообразные (Charadriiformes) – 19%, Гусеобразные (Anseriformes) – 12% и Соколообразные (Falconiformes) – 9% видов. По происхождению фауна птиц Приполярного Урала неоднородна. В ее состав входят представители арктического, сибирского, европейского, средиземноморского, тибетского и китайского типов фауны. Доля сибирских видов составляет 29%. Почти в два раза меньше в составе фауны европейских – 18% и арктических видов – 15%. Незначительная часть видов имеет средиземноморское, тибетское и китайское происхождение (вместе 5%). Наибольшую часть в фауне занимают виды с невыясненным происхождением (широко распространенные виды) – 33% [4]. В период исследований 2022 г. в бассейне верхнего течения р. Войвож-Сыня были получены сведения о характере пребывания, биотопической приуроченности и численности 36 видов птиц, представителей семи отрядов.

Лето 2022 г. на Приполярном Урале характеризовалось продолжительной жаркой и засушливой погодой. В верховьях р. Войвож-Сыня в начале августа часть цветковых растений, произрастающих на открытых пространствах горно-тундрового пояса, характеризовалась пожухлыми обгоревшими на солнце листьями. В озерах и водотоках гольцового и горно-тундрового поясов фиксировалось падение уровня воды (на 30–40 см) и разрастание водорослей.

При рассмотрении пространственного распределения птиц в горных ландшафтах бассейна р. Войвож-Сыня в послегнездовый период можно отметить следующее. Наибольшее видовое богатство и плотность населения птиц были характерны для редколесий и горных тундр (21 вид; 632 ос./км²; и 28 видов; 597 ос./км² соответственно) (табл.). По обилию в лиственничных редколесьях и березовых криволесьях доминировали мелкие воробьиные: луговой конек, пеночка-таловка, рябинник, обыкновенная чечетка, овсянка-крошка. В послегнездовый период 2022 г. были отмечены подкочевки дроздов (рябинников, белобровиков) из горно-лесного пояса и увеличение их численности в подгольцовом и горно-тундровом поясах, связанные с высоким урожаем черники. Наиболее многочисленными видами горных тундр в послегнездовый период были луговой конек и белая трясогузка. Следует отметить, что доля лугового конька в горно-тундровых сообществах высока и составляет около 50%. Этот вид является фоновым видом горных и межгорных

тундр Приполярного Урала как в гнездовый, так и в послегнездовый период. В гольцовом поясе нами птицы не были отмечены.

Таблица

**Распределения птиц по местообитаниям в верхнем течении
р. Войвож-Сыня**

Растительные сообщества	Краткое описание выделенных классов	Количество видов птиц	Плотность (ос./ км ²)	Доминирующие виды
Гольцовые пустыни	Каменистые пустоши, курумники; на горных плато представлены пятнистые тундры с пятнами из мелкозема с чередованием островков из мохово-лишайниковых травяно-кустарничковых сообществ	0	0	нет
Тундровые сообщества	Мелкоерниковые лишайниково-моховые, крупноерниковые травяно-моховые тундры	28	597	луговой конек, белая трясогузка
Светлохвойные леса	Лиственничные ерnikово-зеленомошные, березовые травяно-моховые леса	21	632	луговой конек, пеночка-таловка, рябинник, обыкновенная чечетка, овсянка-крошка

По данным стационарных многолетних наблюдений в районе междуречья р. Вангыра и Сыни отмечено 13 редких охраняемых видов птиц [5]. Из них два были зарегистрированы нами в послегнездовый период 2022 г.: чернозобая гагара и орлан-белохвост. Оба отмеченных вида в междуречье Вангыра и Сыни имеют статус регулярно гнездящихся.

Характер орнитофауны бассейна р. Войвож-Сыня может быть определен как таежный (сибирский) с присутствием европейского и арктического элементов. В исследованном районе сохраняются типичные таежные и тундровые комплексы населения птиц, способствующие поддержанию и сохранению популяций фоновых и редких видов птиц Приполярного Урала. Следует отметить, что естественный природный состав орнитофауны характерный для горной части Приполярного Урала, может изменяться за счет проникновения синантропных видов птиц на территории туристических баз с круглогодичным присутствием человека и более-менее регулярным транспортным сообщением [6].

Работа выполнена в рамках темы «Разнообразие фауны и пространственно-экологическая структура животного населения европейского Северо-Востока России и сопредельных территорий в условиях изменения окружающей среды и хозяйственного освоения» № 122040600025-2.

Библиографический список

1. Естафьев А. А. Птицы западного склона Приполярного Урала // Животный мир западного склона Приполярного Урала : Тр. Коми филиала АН ССР. Сыктывкар, 1977. № 34. С. 44–101.
2. Равкин Ю. С. К методике учета птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск : Наука, 1967. С. 66–75.
3. Портенко Л. А. Фауна птиц внеполярной части Северного Урала. М.-Л. : Изд-во АН СССР, 1937. 240 с.
4. Селиванова Н. П. Особенности фауны и структуры населения птиц в горах Приполярного Урала // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее : материалы Междунар. конф. Горно-Алтайск, 2008. С. 180–185.
5. Селиванова Н. П. Батула Г. В. Редкие виды птиц в междуречье Сыня-Вангыр (Приполярный Урал) // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана : материалы III Всерос. науч. конф. Сыктывкар, 2018. С. 203–205.
6. Селиванова Н. П. Интересные встречи птиц в бассейне р. Кожым (Приполярный Урал) // Фауна Урала и Сибири. Екатеринбург : Изд-во ИЭРиЖ УрО РАН, 2021. Вып. 2. С. 93–95.

ПЕРИФИТОН МАЛЫХ РЕК МАНТУРОВСКОГО КЛАСТЕРА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА

Е. А. Урекин, Д. Р. Замураев, Т. М. Колесова

Костромской государственной университет, eureka@mail.ru

В статье представлены результаты исследования видового состава сообществ перифитона на реках Кастово и Иваньчиха Мантуровского кластера ГПЗ «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына на естественных и искусственных субстратах. Проведена оценка видового сходства по индексу Жаккара. Выявлены стратегии освоения перифитонном разнотипных субстратов представителями различных систематических групп. Также представлены особенности протекания первичной сукцессии перифитонных сообществ на искусственных субстратах.

Ключевые слова: перифитон, видовой состав, естественные и искусственные субстраты, индекс Жаккара, заповедник, реки Кастово и Иваньчиха.

Перифитон – экотопическая группировка гидробионтов, ведущих преимущественно прикрепленный образ жизни на разделе вода – твердые субстраты различного происхождения (камни, скалы, высшие водные растения, покровы животных и т. д.). Перифитон как составная часть водных экосистем претерпевает вместе с ними изменения, обусловленные разными природными и антропогенными факторами, что выражается в пространственных и временных сукцессиях перифитонных сообществ [1, 2].

Актуальность исследования определяется, во-первых, недостаточной изученностью сообществ перифитона малых рек мантуровского кластера

ГПЗ «Кологривский лес» им. М. Г. Синицына, во-вторых, данное исследование проводилось в рамках многолетнего мониторинга гидроценозов на территории заповедника.

Материалом для исследования сообществ перифитона на естественных субстратах послужили пробы, отобранные и помещенные в чашки Петри с поверхности твердых предметов с помощью скальпеля и мягкой кисточки. Всего было отобрано 4 пробы с естественных субстратов в июне 2022 г.: 2 на р. Иваньчиха (12 и 14 июня) и 2 на р. Кастово (13 и 15 июня). Одна из проб на каждой из исследованных рек была взята с каменистого субстрата, другая – с древесного. В качестве искусственных субстратов использовали предметные стекла, которые предварительно обезжиривали и закрепляли на установке. Единоновременно было погружено по одной установке на реки Иваньчиха и Кастово 7 и 9 июня 2022 года соответственно. Предметные стекла извлекали непосредственно в воде, стараясь минимально воздействовать на всю установку, чтобы не нарушить процесс формирования сообществ перифитона на других субстратах. На р. Иваньчиха стекла извлекали на 3, 5 и 7 сутки, а на р. Кастово – на 2, 4 и 6. Извлекали по 3 предметных стекла, помещали в чашку Петри и приступали к определению. Пробы с естественных и искусственных субстратов не фиксировались и определялись в течение 4-6 часов после отбора. В ходе работы сравнили видовой состав естественных и искусственных субстратов каждой реки и этих же рек между собой по индексу Жаккара.

При определении представителей перифитона использовали определительные таблицы следующих авторов: Л. А. Кутикова (1977) [3]; С. Я. Цалолихин (2016) [4]; О. В. Анисимова, М. А. Голубева (2006) [5].

В результате проведенных исследований структуры перифитона в начальный период его формирования на искусственных субстратах на р. Иваньчиха нами были обнаружены: 2 вида тубулин, 8 видов инфузорий, 1 вид эвглен, 1 вид коловраток, 1 вид гастротрих, 4 вида хлорофитов, 1 вид динофитов, 9 видов диатомей, 1 вид ксантофитов. Для экспонирования сукцессионных изменений составили гистограмму (рис. 1).

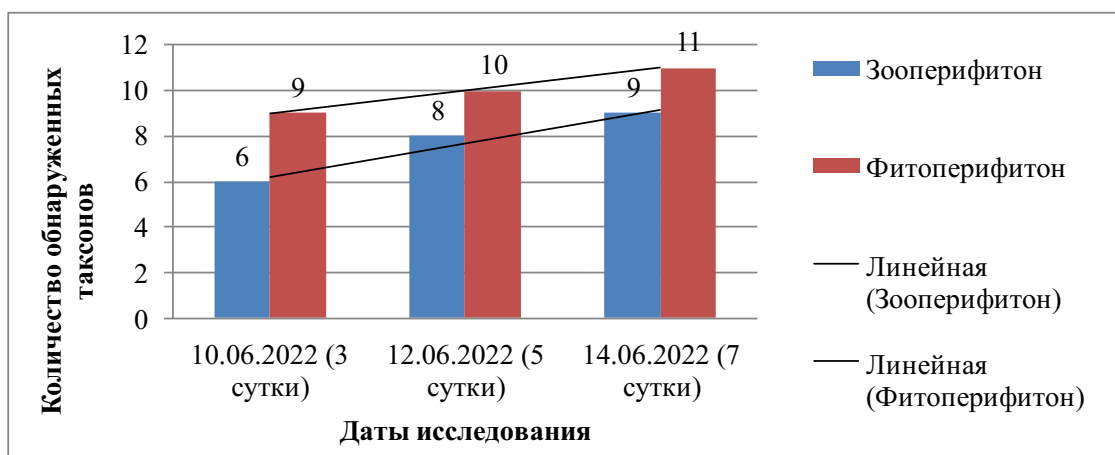


Рис. 1. Изменение количества обнаруженных таксонов в ходе исследования на р. Иваньчиха с искусственных субстратов

Итак, наибольшее количество обнаруживаемых групп характерно для фитоперифитона. В первых же пробах (и в последующих) были обнаружены диатомеи, которые на протяжении всего периода исследования численно доминировали (*Gomphonema*, *Pinnularia*, *Tabellaria*, *Synedra*). Зооперифитон наряду с фитоперифитоном постепенно развивался и увеличивалось количество обнаруживаемых групп. Наиболее часто встречались инфузории (*Paramecium caudatum*, *Vorticella putrina*, *Holophrya simplex*). Однако не наблюдалось достаточной устойчивости. К примеру, амебы (*Amoeba limax*), некоторые инфузории (*Nassula ornate* и др.) и коловратки (*Euchlanis*) периодически не обнаруживались в пробах в некоторые даты исследования. Это, возможно, может свидетельствовать о меньшей устойчивости зооперифитонных организмов. Плазмалемма животной клетки наиболее чувствительна к изменениям внешней среды, чем растительной, поскольку у нее есть дополнительно клеточная стенка из целлюлозы.

На естественных субстратах в р. Иваньчиха было обнаружено 19 видов. На каменистом субстрате в перифитоне найдено 15 видов: зооперифитон – 8 видов, фитоперифитон – 7 видов. На древесном субстрате было обнаружено 13 видов: зооперифитон – 7 видов, фитоперифитон – 6 видов. В результате исследования нами были обнаружены: 3 вида тубулин, 5 видов инфузорий, 1 вид эвглен, 1 вид гастротрих, 1 вид цианофит, 4 вида зеленых водорослей, 3 вида димтомей, 1 вид ксантофитов. Численно преобладали прикрепленные формы инфузорий (*Vorticella putrina*, *Stentor polymorphus*) и диатомей (*Melosira*), а также зеленые водоросли (*Clodophora*). Видовой состав на обоих субстратах представлен, в основном, прикрепленными или слабо подвижными формами. Вероятно, это связано с возможностью долговременного формирования сообществ перифитона на естественных субстратах. Индекс видового сходства перифитона с каменистого и древесного субстрата для р. Иваньчиха составил 47%, что свидетельствует о средней степени общности.

Для р. Иваньчиха индекс Жаккара между пробами с естественных и искусственных субстратов составил 42% (средняя степень общности).

В результате проведенных исследований структуры перифитона в начальный период его формирования на искусственных субстратах на р. Каство нами были обнаружены: 3 вида тубулин, 2 вида инфузорий, 1 вид эвглен, 2 вида коловраток, 1 вид гастротрих, 1 вид кольчатых червей, 1 вид цианофит, 4 вида хлорофитов, 7 видов диатомей, 1 вид ксантофитов. Для экспонирования сукцессионных изменений составили гистограмму, представленную ниже (рис. 2).

Таким образом, наибольшее количество обнаруживаемых таксонов характерно для фитоперифитона (*Closterium*, *Pinnularia*, *Brachysira*, *Synedra*, *Melosira*). Зооперифитон же был непостоянен и колебался качественно и количественно в ходе исследования, не проявляя достаточной устойчивости. Так, *Amoeba limax* была обнаружена только 11.06.2022, *Euglena gracilis* – 11.06.2022 и 15.06.2022 (13.06.2022 не была обнаружена). Однако были пред-

ставители, которые встречались в течение всего периода исследования (*Diffugia oblonga*, полихета *Aelosoma*).

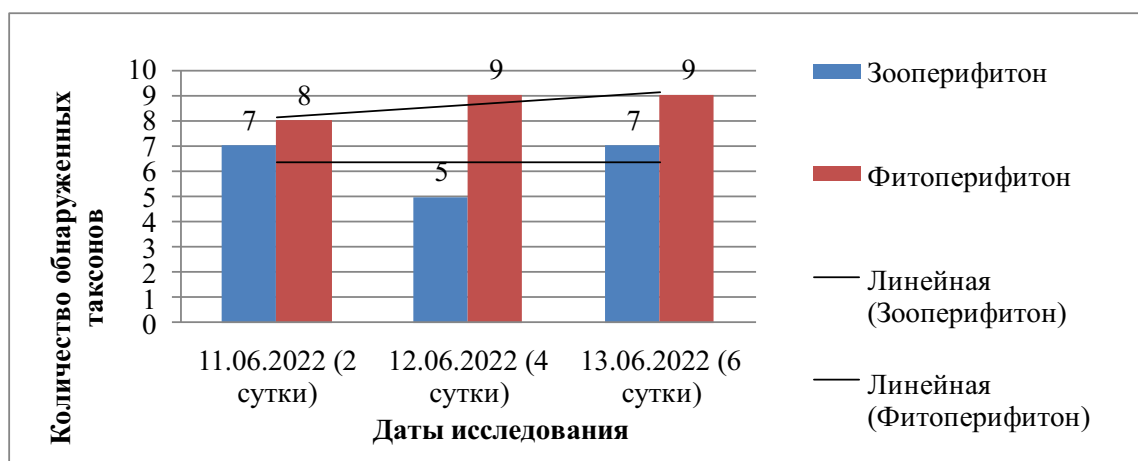


Рис. 2. Изменение количества обнаруженных таксонов в ходе исследования на р. Кастово с искусственных субстратов

Всего было обнаружено в перифитоне на естественных субстратах в р. Кастово 15 видов. На каменистом субстрате в перифитоне было обнаружено 9 видов: зооперифитон – 4 вида, фитоперифитон – 5 видов. На древесном субстрате было обнаружено 10 видов: зооперифитон – 5 видов, фитоперифитон – 5 видов. В результате исследования нами были обнаружены: 2 вида тубулин, 3 вида инфузорий, 1 вид коловраток, 1 вид гастротрих, 1 вид кольчатых червей, 1 вид цианобит, 2 вида зеленых водорослей, 3 вида диатомей. Индекс Жаккара с каменистого и древесного субстрата для р. Кастово составил 27%, что свидетельствует о низкой степени общности (видовая гетерогенность). На каменистом субстрате преобладали диатомеи (*Synedra*, *Navicula* и *Pinnularia*), на древесном – инфузории (*Holophrya hexatricha* и *Stentor polymorphus*) и гастротрихи (*Chaetonotus*).

Для р. Кастово индекс Жаккара между пробами с естественных и искусственных субстратов составил 52% (относительное соответствие видового состава).

Сравнение перифитона и с естественных, и с искусственных субстратов обеих рек (дискретно) показало, что видовой состав схож не более чем на 37%. Возможно, это объясняется различиями в условиях среды обитания: гидрологические, гидрохимические показатели и т.д.

На р. Иваньчиха было обнаружено 27 видов в искусственных пробах перифитона (из них: фитоперифитон – 14 видов, зооперифитон – 13 видов). Количественно развиваются представители фитоперифитона (диатомеи), зооперифитона – в меньшей степени. Всего было обнаружено в перифитоне на естественных субстратах 19 видов. На каменистом субстрате в перифитоне было обнаружено 15 видов: зооперифитон – 8 видов, фитоперифитон – 7 видов. На древесном субстрате было обнаружено 13 видов: зооперифитон –

7 видов, фитоперифитон – 6 видов. Видовой состав не обоих субстратах представлен, в основном, прикрепленными или слабо подвижными формами.

На р. Кастово было обнаружено 23 вида в искусственных пробах перифитона: зооперифитон – 10, фитоперифитон – 13. В целом, сообщества фитоперифитона доминируют качественно и количественно, относительно постоянны и даже качественно увеличиваются. Зооперифитон – нестабилен, колеблется в видовом составе. Всего было обнаружено в перифитоне на естественных субстратах 15 видов. На каменистом субстрате в перифитоне было обнаружено 9 видов: зооперифитон – 4 вида, фитоперифитон – 5 видов. На древесном субстрате было обнаружено 10 видов: зооперифитон – 5 видов, фитоперифитон – 5 видов. Видовой состав не обоих субстратах представлен, в основном, прикрепленными или слабо подвижными формами.

Видовой состав проб с естественных и искусственных субстратов в пределах каждой реки сходен практически наполовину (42–52%). Сравнение перифитона и с естественных, и с искусственных субстратов обеих рек (дискретно) показало, что видовой состав схож не более чем на 37%.

Видовое сходство перифитона между каменистыми и древесными субстратами составило 27–42%. Такой диапазон значений (15%), возможно, объясняется тем, что древесина, разлагающаяся в воде, вызывает микросукцессии в развивающихся на таких субстратах обрастаниях и может исказить представление о действительном состоянии биоценозов (в том числе, и видового состава).

В целом, на искусственных пробах качественно и количественно доминируют диатомовые водоросли, одними из первых заселяя субстрат. Представителей зооперифитона значительно качественно меньше, чем фитоперифитона. Они заселяют субстрат с течением более длительного времени по сравнению с фитоперифитоном.

Библиографический список

1. Трифонов О.В. Роль перифитона в очистке сточной воды от бактерий и минерализации органического вещества // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 3. С. 65–67. doi: 10.25750/1995-4301-2012-3-065-067
2. Методика изучения перифитона и оценки сапробности водоемов / сост. А. С. Боголюбов. М. : Экосистема, 1997. 10 с.
3. Кутикова Л. А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР : [Планктон и бентос] / Отв. ред. д-ра биол. наук Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. 511 с.
4. Цалолихин С. Я. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / под ред. В. Р. Алексеева и С. Я. Цалолихина. М. – СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.
5. Анисимова О. В., Гололобова М. А. Краткий определитель родов водорослей : учебное пособие / под ред. В. М. Гаврилов. М., 2006. 159 с.

ОРНИТОЛОГИЧЕСКИЕ КОНСОРЦИИ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ МАНТУРОВСКОГО КЛАСТЕРА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СЕНИЦЫНА

Н. Ю. Щеголева, Э. В. Марамохин

*Костромской государственный университет,
nadia.schegolewa@yandex.ru*

В данной статье рассматриваются консортивные связи орнитофауны при проведении маршрутного учета птиц в лесных биогеоценозах на территории Мантуровского кластера Государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына.

Ключевые слова: орнитологические консорции, геоботанические площадки, программа EcoScaleWin, орнитологический маршрутный учет, лесные биогеоценозы.

Каждая консорция представляет собой элементарную структурно-функциональную единицу биоценоза [1]. Изучение консортивных связей имеет большое значение не только для теоретической экологии, но и имеет практическое значение – охрана исчезающих видов, борьба с вредителями и болезнями леса [2, 3].

При выделении консорций очень важным является фактор постоянства посещений птицами определенного вида деревьев. Именно постоянные контакты, возникающие при регулярных посещениях птиц одного и того же вида деревьев, например, для гнездования, определяют формирование таких тесных взаимосвязей, при которых с выпадением одного члена консорции становится невозможным существование и других его компонентов. Выделение орнитологических консорций производилось с учетом актуальных данных орнитологических учетов, маршруты которых проходили через территории заложенных геоботанических площадок. Были выделены виды птиц, регулярно фиксируемые по пению на территории закладываемых геоботанических площадок [3, 4].

Геоботанические исследования для изучения орнитологических консорций леса проводились в июне 2022 г. на территории Мантуровского кластера ГПЗ «Кологривский лес». Для установления консортивных связей птиц с лесными биоценозами производился орнитологический маршрутный учет по общепринятым методикам в местах изучения лесных фитоценозов [5].

Геоботанические исследования проводили с заложением пяти площадок по 20 м² каждая. Для каждого вида растений определялось покрытие, оцениваемое по шкале Браун-Бланке [6]. Для обработки полученных результатов применялся метод средневзвешенной середины интервала. Все полученные данные вносились в алгоритм программы EcoScaleWin, где проводилась об-

работка полученных геоботанических описаний по амплитудным шкалам Л. Г. Раменского и Д. Н. Цыганова, а также по точечным шкалам Г. Элленберга и Э. Ландольта [7].

Для сравнения видового состава использовали индекс биотической дисперсии Коха (IBD), который позволяет оценить видовые сходства ряда описаний:

$$IBD = \frac{T - S}{S(n - 1)} \cdot 100\%$$

где S – число видов во всех описаниях, величина T рассчитывается по формуле:

$$T = \sum S = S_1 + S_2 + \dots + S_n,$$

где S_1, S_2, S_n – число видов в каждом описании, n – число описаний [8].

Для изучения орнитологических консорций леса было заложено 5 площадок: 1-осинник разнотравный, 2-сосняк-брусничник, 3-березняк разнотравный, 4-осинник ландышевый, 5-смешенный сосново-березовый и чернично-брусничный лес. Первая и вторая геоботаническая площадка закладывалась справа и слева от грунтовой дороги на отрезке 400–500 м, третья площадка – на отрезке 600–700 м, четвертая – 700–800 м, и пятая – 900–1000 м. Орнитологические маршруты проходили через территорию всех 5 площадок.

Основываясь на полученных результатах обработки геоботанических описаний в программе *EsoScaleWin*, можно сделать вывод, что все геоботанические площадки характеризуются сходными параметрами, как по климатическим, так и по эдафическим факторам. Существенных различий при сравнении результатов как по амплитудным шкалам Раменского и Цыганова, так и по точечным шкалам Элленберга и Ландольта не зафиксировано.

Все площадки в целом характеризуются тонкопесчаной, мезотрофной, слабокислой, умеренно аллювиальной почвой бедной минеральными элементами и азотом, с влажнолесным увлажнением и большим богатством гумуса. Характерно слабое влияние выпаса. Освещенность – разреженнолесная.

С применением индекса биотической дисперсии Коха используемого для оценки сходства пяти геоботанических площадок был получен следующий результат:

$$IBD = \frac{105 - 57}{57(5 - 1)} \cdot 100\% = 21\%$$

Этот результат свидетельствует о низкой флористической гомогенности 5 исследуемых геоботанических площадок.

В таблице приведены результаты маршрутных орнитологических учетов, проходящих через территорию всех 5 геоботанических площадок.

**Результаты орнитологических учетов,
проходящих через геоботанические площадки**

№ площадки	Вид	Число трелей во время утреннего и вечернего учетов
№ 1/№ 2 (400–500 м)	<i>Fringilla coelebs</i> L.	10
	<i>Aegithalos caudatus</i> L.	2
	<i>Phylloscopus trochloides</i> S.	2
	<i>Sylvia communis</i> Lath.	4
	<i>Cuculus canorus</i> L.	2
	<i>Parus major</i> L.	2
	<i>Phylloscopus sibilatrix</i> B.	3
№ 3 (600–700 м)	<i>Anthus trivialis</i> L.	3
	<i>Aegithalos caudatus</i> L.	2
	<i>Sylvia communis</i> Lath.	3
	<i>Cuculus canorus</i> L.	3
	<i>Parus major</i> L.	2
	<i>Phylloscopus sibilatrix</i> B.	3
	<i>Fringilla coelebs</i> L.	11
	<i>Phylloscopus trochilus</i> L.	1
№ 4 (700–800 м)	<i>Phylloscopus trochilus</i> L.	2
	<i>Phylloscopus sibilatrix</i> B.	5
	<i>Anthus trivialis</i> L.	5
	<i>Fringilla coelebs</i> L.	7
	<i>Turdus merula</i> L.	1
	<i>Parus major</i> L.	1
	<i>Sylvia communis</i> Lath.	2
	<i>Cuculus canorus</i> L.	1
	<i>Aegithalos caudatus</i> L.	2
	<i>Tetrao urogallus</i> L.	1
	<i>Aegithalos caudatus</i> L.	5
№ 5 (900–1000 м)	<i>Parus major</i> L.	4
	<i>Phylloscopus sibilatrix</i> B.	3
	<i>Fringilla coelebs</i> L.	8
	<i>Anthus trivialis</i> L.	2
	<i>Sylvia communis</i> Lath.	1
	<i>Cuculus canorus</i> L.	1
	<i>Phylloscopus trochloides</i> S.	1

На всех площадках самым часто встречаемым видом является *F. coelebs*. Это объясняется тем, что территория маршрута окружена светлым сосновым бором, а *F. coelebs* отдает таким лесам явное предпочтение при выборе мест гнездования, этим же объясняется большое количество встреч *P. sibilatrix* на площадках № 1/№ 2, № 4 и № 5. Частые встречи *A. trivialis* на площадках № 3 и № 4 связаны с тем, что он преобладающе гнездится в разреженных светлых лесах, как таковыми и являются площадки № 3 и № 4. Большое количество встреч такого гнездового паразита, как *C. canorus* на площадке № 3 связано с гнездованием на данной территории насекомоядных

птиц, к которым она может подложить свои яйца. Частые встречи *S. communis* на площадках № 1/№ 2 и № 3 объясняются тем, что предпочтение для своего гнездования она отдает лесным массивам вблизи рек, как таковыми и являются площадки № 1/№ 2 и № 3, так как через их территорию протекает р. Иваньчиха. Большое количество встреч *A. caudatus* на площадке № 5 связано со сменой биотопа с березняка разнотравного на смешенный сосново-березовый чернично-брусничный лес, в которых гнездование *A. caudatus* обычно.

Большинство птиц строят свои гнезда на деревьях, т.е. связаны с ними топически, так, например, *F. coelebs*, строя гнезда на *Pinus sylvestris* L. (детерминант) является консортом популяции *P. sylvestris* – на площадках № 2 и № 5. Птицы одновременно являются консортами большого количества консорций и поэтому их положение в биогеоценозе является устойчивым, так как даже при гибели одного из детерминантов они смогут остаться в биогеоценозе. Например, при гибели популяции *P. sylvestris* на площадке № 5 *F. coelebs* сможет продолжить гнездиться на *Betula pendula* Roth. и остаться частью биогеоценоза.

По итогам проведенного исследования можно сделать вывод, что выделенные 5 орнитологических консорций являются устойчивыми так как включают в свой состав не только несколько видов детерминантов, но большое количество птиц, являющихся консортами 1-го и 2-го порядка. На всех площадках регулярно фиксировались такие виды птиц как *F. coelebs*, *A. caudatus*, *S. communis*, *P. sibilatrix*, *P. major*. При сравнении результатов обработки геоботанических описаний в программе EcoScaleWin все геоботанические площадки имеют схожие параметры, как по климатическим параметрам, так и по эдафическим факторам. Существенных различий при сравнении результатов как по шкалам Раменского и Цыганова, так и по шкалам Элленберга и Ландольта нет. Параметры изученных биотопов, в целом, характерны для лесных биогеоценозов.

Библиографический список

1. Микробная биотехнология рекультивации почвы для санирования и устойчивого функционирования техногенной экосистемы / А. А. Лещенко, И. П. Погорельский, Т. Я. Ашихмина, И. А. Лундовских, И. В. Дармов, С. Н. Янов, А. Г. Лазыкин, М. Р. Шабалина, И. А. Устюжанин, С. А. Шаров, Г. М. Рычков // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 4. С. 54–65. doi: 10.25750/1995-4301-2017-4-054-065
2. Работнов Т. А. О консорциях // Бюллетень МОИП, отд. биол. 1969. Т. 74, № 4 С. 110–115.
3. Селиванов И. А. Консорции в системе биотических взаимоотношений в биогеоценозах // Значение консортивных связей в организации биогеоценозов : материалы II Всесоюзного совещания по проблеме изучения консорций. Пермь : Изд-во «Звезда», 1976. С. 11–17.
4. Степановских А. С. Экология : учебник для вузов. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 703 с.

5. Арнольди Л. В., Борисова И. В., Сколон Л. В. Консорции и типы консортивных связей // Биоконплексная характеристика основных ценообразователей Центрального Казахстана. Л. : Наука, 1969. С. 21–26.
6. Braun-Blanquet J. Plant Sociology / Transl. by G. . Fuller, H. S. Conard. New York : McGraw-Hill Book Company, 1932.
7. Зубкова Е. В. Компьютерная обработка геоботанических описаний по экологическим шкалам с помощью программы EcoScailWin. Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, Пущинский гос. ун-т, 2008. 96 с.
8. Koch L. F. Index of biotal dispersity // Ecology. 1957. Vol. 38, No. 1. P. 145–148.

Научное издание

БИОДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

Материалы

XX Всероссийской научно-практической конференции

с международным участием

1 декабря 2022 г.

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова

Дизайн обложки: Ю. Д. Иванова

Подписано в печать 30.11.2022 г. Печать цифровая.

Бумага для офисной техники.

Усл. печ. л. 24,15. Тираж 50 экз. Заказ № 410.

Отпечатано с готового оригинал-макета

в центре полиграфических услуг

Вятского государственного университета.

610000, г. Киров, ул. Московская, 36.