



ИБ ФИЦ Коми
НЦ УрО РАН

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ: проблемы и пути их решения

КНИГА 2

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

Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

**ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Материалы
XVII Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
26–27 апреля 2022 г.

Книга 2

Киров 2022

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

Печатается по рекомендации Научного совета ВятГУ

Ответственный редактор:

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

Редакционная коллегия:

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. Дабах**, доцент, канд. биол. наук, **Е. А. Домнина**, доцент, канд. биол. наук, **Г. Я. Кантор**, с. н. с., канд. техн. наук, **Т. И. Кутявина**, с. н. с., канд. биол. наук, **Т. А. Мусихина**, доцент, канд. геогр. 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, **А. В. Сазанов**, доцент, канд. биол. наук, **С. Г. Скугорева**, доцент, канд. биол. наук, **Н. В. Сырчина**, доцент, канд. хим. наук, **А. С. Тимонов**, н. с., **Е. В. Товстик**, доцент, канд. биол. наук, **А. И. Фокина**, доцент, канд. биол. наук, **С. В. Шабалкина**, доцент, канд. биол. наук.

Э 400 Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. (г. Киров, 26–27 апреля 2022 г.). – Киров: ВятГУ, 2022. – 398 с.

ISBN 978-5-98228-251-4 (Книга 2)
ISBN 978-5-98228-249-1

В материалах XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Экология родного края: проблемы и пути их решения» обсуждаются результаты мониторинга состояния окружающей среды и экологические проблемы регионов России и ближнего зарубежья. Рассматриваются проблемы обращения с отходами, обсуждаются подходы к оценке состояния биологических систем, методы экологического мониторинга, дистанционные методы исследований. Особое внимание отводится биологии и экологии растений, животных и микроорганизмов в изменяющихся условиях окружающей среды. Представлены работы по химии и экологии почв. Сборник материалов конференции предназначен для научных работников, преподавателей, специалистов природоохранных служб и ведомств, аспирантов, студентов высших учебных заведений.

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

Благодарим руководство Филиала «КЧХК» АО «ОХК «УРАЛХИМ» в г. Кирово-Чепецке за партнерство и сотрудничество.

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

ISBN 978-5-98228-251-4 (Книга 2)
ISBN 978-5-98228-249-1

© ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (ВятГУ), 2022

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 5 ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

<i>Широких И. Г., Комлева А. В.</i> Выделение и характеристика нового штамма стрептомицета-продуцента боррелидина	10
<i>Боков Н. А., Назарова Я. И., Широких И. Г.</i> Изменение целлюлазной активности стрептомицетов в зависимости от продолжительности культивирования	15
<i>Бурцева С. А., Бырса М. Н., Чеботарь В. И.</i> Производство ферментов актинобактериями, выделенными из биопленки системы озер «La Izvor» (г. Кишинев).....	20
<i>Бырса М. Н., Бурцева С. А., Чеботарь В. И.</i> Энзиматическая активность актинобактерий, выделенных из придонных отложений озерной системы «La Izvor» (г. Кишинев)	24
<i>Сырбу Т. Ф., Цуркан О. П.</i> Ферментативная и противогрибковая способность микроводорослей и цианобактерий, выделенных из озерной системы «La Izvor» (г. Кишинев)	28
<i>Широких И. Г., Патракова М. Э., Назарова Я. И., Бакулина А. В.</i> Актинобиота ризосферы левзеи сафлоровидной	33
<i>Домрачева Л. И., Забубенина Ю. С., Огородникова С. Ю., Назарова Я. И., Широких И. Г.</i> Реакция микромицетов на интродукцию в почву актинобактерий в присутствии целлюлозосодержащего субстрата....	39
<i>Кузнецова Т. В., Утомбаева А. А., Каримуллин Л. К., Игнатьев Ю. А., Петров А. М.</i> Влияние высших растений на микробиоценоз нефтезагрязненной аллювиальной луговой почвы	43
<i>Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф., Концева И. И., Бондарева А. В.</i> Влияние экологических условий на численность агрономически полезных групп микроорганизмов при использовании микробных биопрепаратов	48
<i>Емелев С. А.</i> Влияние биопрепаратов производства Россельхозцентр на рост яровых зерновых культур	52
<i>Хмелевцова Л. Е., Сазыкин И. С., Ажогина Т. А., Хаммами М. И.</i> Воздействие пестицидов и минеральных удобрений на микробиом сельскохозяйственных почв	57
<i>Прокудина О. В., Третьякова А. В., Песцов Г. В.</i> Экология и многообразие метилотрофных бактерий.....	60
<i>Матушкин В. А.</i> О возможности применения бактерий рода <i>Pseudomonas</i> для микроклонального размножения	62
<i>Лицевич А. Р., Хмелевцова Л. Е., Сазыкин И. С., Сазыкина М. А.</i> Исследование экспрессии стрессовых генов у <i>Rhodococcus erythropolis</i> при воздействии углеводов.....	66

Чернышенко Е. Р., Лицевич А. Р., Брагинцева А. П., Седова В. В., Кан В. В., Наумова Е. А., Алешукина И. С., Ажогина Т. Н. Гены резистентности к антибиотикам у микроорганизмов, выделенных из куриного фарша.....	69
Тютиков С. Ф., Проскуракова Л. В. Состав зажогинского шунгита и его влияние на патогенную микрофлору	71
Морозова М. А., Седова Д. А. Обнаружение аэромонад и кишечных палочек в воде Нижнего Дона	76
Акулова А. Ю., Мошарова И. В., Хазанова К. П., Голдобина Л. И. Сезонная динамика численности метаболически активного бактериопланктона на участках реки Москвы с разным уровнем биогенной нагрузки	80
Кувичкина Т. Н., Капаруллина Е. Н., Доронина Н. В., Решетиллов А. Н. Поиск родоккоков деструкторов карбендазима биосенсорным методом.....	83
Наумова Е. А., Гильдебрант А. В., Сазыкин И. С., Сазыкина М. А. Влияние глифосата на образование бактериальных биопленок.....	87
Полиниченко А. Е., Ажогина Т. Н., Сазыкин И. С., Плотников А. А. Оценка перекисного окисления липидов бактерий под влиянием антибиотиков.....	89
Богдан Н. Ю., Сланина В. А. Перспективы использования водных микроорганизмов	92
Стариков П. А., Огородникова С. Ю., Михеева П. С., Домрачева Л. И., Ковина А. Л., Трефилова Л. В. Изменение морфометрических и биохимических признаков лядвенца рогатого под влиянием инокуляции семян различными микроорганизмами (лабораторные опыты)	97
Забубенина Ю. С., Трефилова Л. В., Домрачева Л. И. Особенности формирования биопленок «цветения» почвы под влиянием интродуцированных микроорганизмов	102
Дюкова А. С., Сотникова В. А. Биоразнообразие планктонной альгофлоры озера Каменик Костромской области	106
Дюкова А. С., Марамохин Э. В., Бутенина С. А., Сосновикова Е. А. Биоразнообразие планктонной альгофлоры реки Сеха Государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Сеницына	110
Кондакова Л. В., Дабах Е. В. Мониторинг альгофлоры планктона пойменного озера.....	115
Гогонин А. В., Щемелинина Т. Н., Анчугова Е. М. Микроводоросли <i>Acutodesmus obliquus</i> в очистке сточных вод от фенолов	117
Назаренко Н. Н., Свистова И. Д. Условно-патогенная микобиота антропогенно-преобразованных почв Воронежа	120
Милованкин Д. И., Потехина Р. М., Шуралев Э. А. Разнообразие грибов рода <i>Trichoderma</i> заповедника «Большая Кокшага» Республики Марий Эл.....	124

Миндубаев А. З., Бабынин Э. В., Бадеева Е. К., Минзанова С. Т.	
Второе десятилетие исследований биodeградации	128
Черемисинов М. В. Изучение эффективности одно- и многокомпонентных фунгицидов протравителей на картофеле	132
Никифоров Н. А. Первые сведения о миксомицетах памятника природы регионального значения «Низевский таежно-болотный комплекс».....	138
Сизова Е. Н., Шмакова Л. Н. Эколого-эпидемиологический мониторинг сточных вод и пандемия COVID-19	141

СЕКЦИЯ 6 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Марамохин Э. В., Ершов А. А. Находка нового для микобиоты Костромской области <i>Elaphomyces granulatus</i> Fr.....	146
Рябова Е. В., Рябов В. М. О находке дендрискостикты райта (<i>Dendriscosticta wrightii</i>) в Кировской области.....	149
Ноздрина Ю. В., Дюкова А. С. Таксономическая структура и видовой состав мохообразных на территории Государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Синицына.....	151
Махмудов А. В., Абдураимов О. С., Эрдонов Ш. Б. Семенная продуктивность <i>Nigella sativa</i> L. в разных условиях Узбекистана.....	154
Егорова Н. Ю., Сулейманова В. Н. Биологическая продуктивность и жизненность лабазника вязолистного (<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.) в различных типах местообитаний южной тайги.....	159
Ильина В. Н. О структуре ценопопуляций <i>Glycyrrhiza echinata</i> L. в бассейне реки Самара (нижнее течение)	163
Фардеева М. Б., Искандиров П. Ю., Эскина А. Е. Особенности популяционной структуры <i>Cypripedium calceolus</i> L. (Orchidaceae Juss.) в еловых лесах на севере Татарстана.....	166
Абдураимов А. С., Данияров С. А., Абдураимова Д. С. Лекарственные растения семейства Ариасеае во флоре Таркапчигайского ботанико-географического района.....	170
Кузина Э. В., Рябова Е. В. Видовое разнообразие сосудистых растений некоторых участков Южно-Камышового хребта на территории Невельского района о. Сахалин	176
Матвеева Ю. Г. Изучение распределения редких и охраняемых травянистых растений в зависимости от экологических условий на территории туристического комплекса «Солнечная поляна» (Саратовская область)	179
Соловьева В. В. Биология и экология адвентивных растений водоемов Самарской области	182
Попова Е. Э., Шабалкина С. В. Разнообразие лесов особо защитных участков вокруг некоторых населенных пунктов Верхошижемского района	188

Шушпанникова Г. С., Фомина Я. А. Особенности роста и развития горечавки желтой при интродукции в ботаническом саду Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина	194
Ступакова О. М. Морфология и экология сортовых тополей дендрария Сибирского государственного университета.....	199
Чобакова Л. А., Афанасьева О. В., Неверова Т. В., Рябова Е. В. Исследование ценопопуляции сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) в г. Яранске	202
Бондарь Е. Н. Бриофлора Донбасса как ресурс для экологических практик.....	204
Иванова Д. В. Карпологическая пластичность растений в условиях техногенных ландшафтов Донбасса	207
Воронцова Д. С. Специфичность пылеосаждения травянистыми растениями в промышленно развитом Донбассе	210
Тупицына М. А., Кауров А. Ю., Олькова А. С. Методологические проблемы использования флуктуирующей асимметрии березы повислой (<i>Betula pendula</i> Roth) для индикации качества окружающей среды	214
Демин М. В., Рябова Е. В. Оценка жизненного состояния древесно-кустарниковых насаждений города Кирово-Чепецка.....	217
Утомбаева А. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Развитие растений на нефтезагрязненной аллювиальной болотной почве	219
Симонова О. А. Оценка устойчивости растений ячменя к повышенным концентрациям марганца	223
Галкина А. А., Игнатьева О. В., Лукаткин А. С., Калганова Н. В. Эффективность производных оксадиазолония при действии температурного стресса на растения кукурузы	228
Копосова Е. А., Ханжина Е. Г., Огородникова С. Ю. Влияние спиртового экстракта из хвои сосны на всхожесть семян и рост проростков ячменя	231
Южанин К. И., Сырчина Н. В., Большакова С. Э., Потапова И. А. Адьюванты для фолиарной подкормки растений карбамидом	235
Кислицына Е. А., Гущина П. И., Фокина А. И. Влияние условий выращивания на содержание фенольных соединений в мелиссе лекарственной	238
Пакичев А. С., Адамович Т. А. Определение биологически активных веществ в микрозелени сои.....	242
Малькова В. М., Адамович Т. А., Береснева Е. В. Определение содержания биологически активных веществ в микрозелени гороха.....	245
Болдырев Д. В., Ханжина Е. Г., Огородникова С. Ю. Биологически активные вещества плодов черной смородины	247
Головьев М. Д., Зяблицева Я. И., Адамович Т. А. Исследование антиоксидантных свойств экстракта винограда сорта «Молдова»	251

Деменева А. В., Фокина А. И., Олькова А. С. Оценка полезных свойств плодов рябины обыкновенной и рябины черноплодной по химическим и токсикологическим анализам	253
Лучинин Г. А., Исупова М. В., Елец А. А., Гребенев И. Р., Бурков А. А., Товстик Е. В. Изучение элементного состава плодов и листьев рябины обыкновенной, рябины черноплодной и облепихи крушиновидной	255
Гребенев И. Р., Исупова М. В., Елец А. А., Лучинин Г. А., Товстик Е. В. Адсорбционная способность листьев плодовых растений.....	257
Косарева А. Д., Соловьёва Е. С. Хроматографические методы разделения растительных пигментов.....	260
Нечаева А. С., Соловьёва Е. С. Валидация методики определения β-каротина в плодах облепихи крушиновидной при экстракции разными растворителями	263
Минеева Ю. А., Соловьёва Е. С. Валидация методики количественного определения беталаиновых пигментов в свекле	267

СЕКЦИЯ 7 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Букина Л. А., Култышева К. А. К вопросу о воспроизводстве стерляди (<i>Acipenser ruthenus</i> , 1758) в среднем течении реки Вятка	270
Гвоздарева М. А., Мельникова А. В. Количественные показатели зоопланктона и зообентоса акватории Саралинского участка Волжско-Камского заповедника.....	274
Греков О. А., Манаенков А. А. Анализ современного состояния популяции лося в охотугодьях Республики Карелия.....	279
Данилова Е. В., Панюкова Е. В., Селиванова Н. П., Грицай А. Б. Почвенно-климатические механизмы регуляции активности таежного клеща <i>Ixodes persulcatus</i> (Acari: Ixodinae) в подзоне средней тайги Республики Коми.....	284
Егорова А. В., Гатиятуллина А. Ф., Калининкова Т. Б. Нейротоксическое действие <i>Allium sativum</i> на организмы свободноживущих почвенных нематод <i>Caenorhabditis elegans</i> линий N2 и IPE1	287
Егорова А. В., Гатиятуллина А. Ф., Калининкова Т. Б. Последствия кратковременного действия нитрата свинца на нервную систему свободноживущей почвенной нематоды <i>Caenorhabditis elegans</i>	292
Еськов Е. К., Еськова М. Д. Специфичность реагирования пчел (<i>Apis mellifera</i> L.) на низкочастотное электрическое поле высокой напряженности	297
Зиновьев В. В., Пестов С. В., Огородникова С. Ю. Повреждения листьев рябины обыкновенной (<i>Sorbus aucuparia</i>) вредителями и патогенами на территории города Кирова.....	300

Калинникова Т. Б., Гатиятуллина А. Ф., Егорова А. В. Действие ингибиторов ацетилхолинэстеразы на организмы свободноживущих почвенных нематод <i>Caenorhabditis elegans</i> линий N2 и IPE1 при гипертермии	305
Кафтайлова Е. Д., Ходырев Г. Н. Оценка степени повреждения листьев тополя бальзамического (<i>Populus balsamifera</i> L.) и липы сердцевидной (<i>Tilia cordata</i> Mill.) г. Кирова.....	310
Климова А. С., Сиротина М. В. Некоторые гематологические показатели рыжей полевки в условиях Кологривского заповедника	313
Масленникова О. В., Лимендова С. А. Мониторинг гельминтов некоторых видов млекопитающих Кировской области.....	317
Никонова А. А. Оценка гибели млекопитающих на дорогах Кировской области	320
Островский Д. В., Рябов В. М. Оценка экономического ущерба от средообразующей деятельности бобров.....	322
Панюкова Е. В., Шадрин Д. М., Фатеева А. А. Использование экологического критерия вида для идентификации кровососущих комаров (Diptera: Culicidae)	325
Пономарев В. И. Первые сведения об ихтиофауне национального парка «Койгородский»	328
Пышкин В. Б., Кобечинская В. Г., Прыгунова И. Л. Биологическое разнообразие кокциnellидофауны (Insecta: Coccinellidae) Крымского полуострова	333
Раскоша О. В. Сочетанное действие ионизирующего излучения и нитрата натрия на эпителий щитовидной железы мышей линии СВА	337
Сиротин А. Л., Сиротина М. В. Зоопланктон реки Иваньчихи на территории Кологривского заповедника (Костромская область).....	340
Ситникова О. Н., Сиротина М. В., Мурадова Л. В. Зоогенная сукцессия фитоценозов на Кологривском кластере Государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Синицына»	343
Солдатова В. В. Анализ различий авиафауны пойменных и лесных местообитаний на примерах рекреационных зон туристического комплекса «Солнечная поляна» и спортивно-научного центра «Политехник»	348
Сомов Д. А., Рябов В. М. Материалы к составу орнитофауны на территории особо охраняемой природной территории Дендрологический парк лесоводов Кировской области.....	352
Старобор Н. Н., Раскоша О. В. Сравнительный анализ сперматозоидов у полевок-экономок, обитающих в условиях нормального и повышенного радиационного фона	356
Токинова Р. П., Бердник С. В. Ресничные черви (Plathelminthes: Catenulida, Rhabditophora) Волжско-Камского бассейна: изученность и оценка видового разнообразия	360
Турмухаметова Н. В., Глушкова Д. С. О динамике численности <i>Columba livia</i> в центре города Йошкар-Олы.....	364

Урекин Е. А., Колесова Т. М. Зообентос как индикатор экологического состояния рек Кострома и Вёкса Буйского района Костромской области.....	367
Ухова Н. Л., Алексанов В. В., Гордиенко С. С., Суходольская Р. А. Изменчивость размеров жужелицы <i>Pterostichus niger</i> Schall. (Coleoptera, Carabidae) в разных частях ареала	371
Фатеева А. А. Почвенная фауна лесов южной тайги (заповедник «Нургуш», участок «Тулашор»)	374
Хасанова Р. Ф., Мустакимова Д. И. Содержание и особенности распределения тяжелых металлов в органах и тканях рыб реки Урал	379
Царенок А. А., Карпенко А. Ф., Антипенко О. Н. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник как резерват содержания лошадей	382
Целищева Л. Г. Фауна мокриц (Crustacea, Isopoda, Oniscidea) населенных пунктов Кировской области	386
Цепелева М. Л. Зообентос реки Шуван в районе пгт Арбаж	390
Юдинцева М. В., Масленникова О. В. Паразитологическое исследование почв города Кирова	395

СЕКЦИЯ 5 ЭКОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

ВЫДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА НОВОГО ШТАММА СТРЕПТОМИЦЕТА-ПРОДУЦЕНТА БОРРЕЛИДИНА

*И. Г. Широких*¹, *А. В. Комлева*²

¹ *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, irgenal@mail.ru*

² *Вятский государственный университет*

Из образца почвы, отобранного под злаково-разнотравной растительностью на западном берегу озера Кинерет (Израиль), выделен штамм *Streptomyces rochei* 3IZ-6 (код доступа OK412986 в GenBank). С помощью двойной репортерной системы, позволяющей идентифицировать антибиотики, ингибирующие биосинтез белка и вызывающие SOS-ответ, была установлена его способность продуцировать антибиотик, масс-спектры которого соответствуют боррелидину. Изучены фенотипические и генотипические свойства штамма-продуцента антибиотика. Определен потенциал практического использования *S. rochei* 3IZ-6 в защите растений.

Ключевые слова: *Streptomyces*, биологическая защита растений, бактерицидная активность, гербицидное действие.

Поиск новых источников биологически активных веществ природного происхождения не теряет своей актуальности, в связи с устойчивой тенденцией к увеличению среди используемых в сельском хозяйстве пестицидов доли биологических препаратов, а также в связи с нарастанием устойчивости к ныне используемым средствам защиты растений в популяциях вредоносных для сельскохозяйственных культур организмов [1].

Почвенные актинобактерии рода *Streptomyces* являются в этом отношении далеко не исчерпанным ресурсным источником, хотя современная информационная база данных по метаболитам стрептомицетов насчитывает более 10 тыс. биологически активных соединений [2]. Широкое метаболическое разнообразие позволяет им эффективно взаимодействовать с растением, а также контролировать численность фитопатогенных микроорганизмов.

Цель работы – выделение, выявление и характеристика свойств новых продуцентов антибиотиков для создания на их основе экологически безопасных биопрепаратов для использования в растениеводстве.

Для выделения актинобактерий был использован образец почвы, отобранный в 2018 г. на западном берегу озера Кинерет (Израиль) под злаково-разнотравной растительностью. Поскольку естественная соленость воды в

озере составляет в настоящее время около 300 мг/л хлоридов [3], ожидалось, что соленость почвы в этом местообитании тоже повышена, что согласуется со стратегией поиска эффективных микроорганизмов-продуцентов БАВ в экстремальных условиях окружающей среды [4].

Актинобактерии выделяли при поверхностном посеве из разведений почвенных суспензий на среду с гидролизатом казеина и глицерином [5]. Чистоту выделенных культур определяли общепринятыми методами – микроскопически и высевом на агаризованную минеральную среду Гаузе 1 [6].

Скрининг культур на антибиотическую активность проведен в НИИ Физико-химической биологии имени А. Н. Белозерского МГУ (г. Москва). С использованием двойной репортерной системы, позволяющей идентифицировать антибиотики, ингибирующие биосинтез белка, а также вызывающие SOS-ответ [7], выявлена способность бактериального изолята 3IZ-6 синтезировать на агаризованных средах и в глубинной культуре антибиотик, который, как показала масс-спектрометрия, представляет собой боррелидин.

Боррелидин – уникальный по структуре 18-членный нитрилсодержащий поликетидный макролактон с антибактериальной [8], антимикотической [9], антималярийной [10] и противовирусной активностью [11]. Боррелидин может также воздействовать на раковые клетки, благодаря способности подавлять ангиогенез [12], индуцировать апоптоз и ингибировать треонил-тРНК-синтетазу [13]. Однако, несмотря на широкий потенциал клинического действия, боррелидин пока не нашел широкого применения в медицинской практике из-за цитотоксичности в отношении здоровых клеток.

В исследованиях *in vitro* противогрибковая активность почвенных и эндофитных изолятов стрептомицетов, способных к синтезу боррелидина, была показана в отношении видов *Pythium aphanidermatum*, *P. splendens*, *P. sylvaticum*, *P. ultimum* [9] и возбудителей фитофтороза цитрусовых культур *Phytophthora capsici*, *P. cinnamomi*, *P. palmivora* и *P. parasitica* [14].

К настоящему времени из актинобактерий выделены структурные аналоги и производные боррелидина. Продуцирующие их штаммы – представители родов *Streptomyces* и *Nocardiosis* изолированы из необычных мест обитания с повышенной соленостью среды: океанических осадков, морских моллюсков, мангровых отложений, засоленных почв [12–14].

На плотных питательных средах, используемых для фенотипического описания стрептомицетов [6] изолят 3IZ-6 образует хорошо развитый воздушный мицелий светло-серого, серого или сероватого цвета. Субстратный мицелий от бесцветного до кремового, растворимых пигментов нет. Цепочки спор извитые, в виде крючков или неправильных спиралей (РА), поверхность спор гладкая. Меланоидные пигменты не образует. Утилизует глюкозу, арабинозу, галактозу, лактозу, ксилозу, рамнозу, сахарозу, целлюлозу, маннит. Штамм способен переносить концентрацию NaCl не более 6,0% и pH среды в пределах 5,0–9,0 ед. Растет при 4–45 °С. Температурный оптимум – 38–40 °С. Штамм обладает устойчивостью к цефотаксиму (30 мкг), амоксициллину (20 мкг) и рифампицину (5 мкг). Чувствителен к стрептомицину (300

мкг), карбенициллину (25 мкг), канамицину (30 мкг), тетрациклину (30 мкг), полимиксину (300 ЕД). По совокупности культурально-морфологических и физиолого-биохимических свойств выявленный штамм с биосинтезом боррелидина был отнесен к виду *Streptomyces rochei*, из представителя которого первоначально и был выделен боррелидин [8].

Для более точной идентификации проведено секвенирование (в ООО «Синтол») и сравнительный анализ нуклеотидной последовательности фрагмента гена 16S рРНК с имеющимися в GenBank структурами, согласно которым с большой долей вероятности (98,02%) можно отнести изучаемый микроорганизм к виду *Streptomyces rochei*. Нуклеотидная последовательность фрагмента гена 16S рРНК штамма 3IZ-6 депонирована в GenBank NCBI с присвоением индивидуального номера доступа ОК 412986.

Проверка антагонистической активности методом диффузии в агар показала, что *S. rochei* 3IZ-6 ингибирует рост фитопатогенных тест-бактерий. Наиболее значительным было угнетение роста *Clavibacter michiganensis* СММ 19 (35–40 мм) и *Curtobacterium flaccumfaciens* G29r4 (25-30 мм). *C. michiganensis* известен как возбудитель вредоносных заболеваний культур семейства пасленовых – черной кольцевой гнили картофеля и бактериального рака томатов. Бактерия *C. flaccumfaciens* может вызывать бактериальное увядание фасоли (*Phaseolus* spp.), гороха (*Pisum sativum*), сои (*Glycine max*) и некоторых других бобовых растений. Рядом международных комиссий по карантину и защите растений возбудитель *C. flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* включен в число карантинных объектов (<https://www.eppo.int>).

Несмотря на имеющиеся в литературе свидетельства антифунгальной активности боррелидина, в отношении тест-культур фитопатогенных грибов *Fusarium avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*, *F. proliferatum*, *Bipolaris sorokiniana*, *Parastagonospora nodorum*, *Alternaria alternata* штамм *S. rochei* 3IZ-6 не проявил угнетающего действия.

Далее оценивали фитотоксичность *S. rochei* 3IZ-6, используя для этого жидкие культуры, выращенные на питательных средах разного состава: природной (овсяной) и синтетической (среде для скрининга антагонистической активности). Семена тест-культуры – пшеницы (*Triticum aestivum* L.) замачивали в нативной и разбавленной водой 1:10 жидких культурах (ЖК) стрептомицета. При оценке фитотоксического действия установлено, что водорастворимые метаболиты штамма *S. rochei* 3IZ-6, выращенного на синтетической среде, не оказали влияния на всхожесть семян пшеницы, но существенно угнетали рост проростков (табл. 1).

Таблица 1

**Всхожесть и морфометрические показатели проростков пшеницы
в зависимости от обработки семян ЖК *S. rochei* 3IZ-6**

Вариант обработки		Длина корня, мм	Высота побега, мм	Биомасса в.-с., г	Всхожесть, %
Контроль (без обработки)		89,78±8,83	35,5±4,13	0,25±0,01	87±3,83
ЖК на овсяной среде	нативная	43,13±4,03*	19,07±3,04*	0,13±0,01*	72±5,66*
	1:10	69,13±7,56*	29,48±3,76	0,21±0,03*	84±5,66
ЖК на синтетической среде	нативная	71,88±7,03*	32,15±3,28	0,20±0,02*	87±6,0
	1:10	94,16±10,28	45,04±6,88	0,26±0,02	93±3,83

Примечание: * различие с контролем достоверно при $p \geq 0,95$.

Так, линейные размеры проростков под влиянием *S. rochei* 3IZ-6 были на 10–20%, а сухая биомасса – на 20% меньше, чем у растений в контроле. При использовании для замачивания семян разведенной ЖК 1:10, негативное влияние *S. rochei* 3IZ-6 на морфометрию проростков полностью устранялось.

При культивировании штамма на жидкой овсяной среде угнетающее действие ЖК *S. rochei* 3IZ-6 на проростки, напротив, усилилось. Всхожесть обработанных семян стала на 15% ниже, чем в контроле, снижение длины корней проростков достигало 52%, высоты – 46%, биомассы – 48% в сравнении с растениями, не подвергнутыми обработке. При разведении ЖК 1:10 ингибирующее действие *S. rochei* 3IZ-6 ослабилось. Линейные размеры проростков уступали контрольным значениям лишь на 17-23%, а биомасса – на 16%. Аналогичные результаты получены при обработке ЖК 3IZ-6 семян гороха (*Pisum sativum*): морфометрические показатели проростков значимо ниже, чем в контроле (табл. 2).

Таблица 2

**Всхожесть и морфометрические показатели проростков гороха
в зависимости от обработки семян ЖК *S. rochei* 3IZ-6**

Вариант обработки	Длина корня, мм	Высота побега, мм	Биомасса в.с., г	Всхожесть, %
Контроль	69,24±10,26	24,16±4,41	0,39±0,04	81,25±13,77
ЖК нативная	49,79±8,22*	17,11±2,52*	0,26±0,03*	67,5±15,0
ЖК 1:10	79,0±6,61	30,48±3,47	0,46±0,04	90,0±4,08

Примечание: * различие с контролем достоверно при $p \geq 0,95$.

Эти результаты указывают на гербицидную активность штамма, обусловленную, очевидно, также действием боррелидина. Фитотоксичность боррелидина была впервые отмечена у *S. scabies*, но его угнетающее действие в сравнении с такстомином А было на порядок ниже [15]. Кроме того, с помощью реактива Сальковского установлено, что *S. rochei* 3IZ-6 в присутствии 200 мкг/мл триптофана способен продуцировать индольные соединения в количестве 13,2–14,0 мкг/мл. Экзогенные ауксины, в зависимости от концентрации и факторов эндогенной природы, могут как стимулировать, так и угнетать рост растений [16].

Таким образом, поскольку степень фитотоксичности *S. rochei* ЗИЗ-6 варьирует в зависимости от концентрации бактериальных метаболитов и состава питательной среды, теоретически возможен подбор условий культивирования, обеспечивающих желательную целевую активность нового штамма. *S. rochei* ЗИЗ-6 может найти практическое применение как продуцент боррелидина, а также в защите растений от сорняков и бактериозов, вызываемых фитопатогенами *Clavibacter michiganensis* и *Curtobacterium flaccumfaciens*.

Авторы выражают благодарность доктору химических наук И. А. Остерману (НИИ Физико-химической биологии имени А. Н. Белозерского МГУ) за проведение скрининга культур, продуцирующих антибиотики, и идентификацию боррелидина.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги».

Библиографический список

1. Новикова И. И. Микробиологическая защита растений-основа фитосанитарной оптимизации агроэкосистем // Защита и карантин растений. 2017. № 4. С. 3–6.
2. Dewi T. K., Agustiani D., Antonius S. Secondary metabolites production by Actinomycetes and their antifungal activity // KnE Life Sciences. 2017. С. 256–264.
3. Озиранский Ю., Кольмакова Е. Г., Марголина И. Л. Интегрированное управление ограниченными водными ресурсами в целях устойчивого водообеспечения аридных регионов (опыт государства Израиль) // Аридные экосистемы. 2014. № 4 (61). С. 57–65.
4. Павлюшин В. А., Новикова И. И., Бойкова И. В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 3. С. 421–438.
5. Практикум по биологии почв / Г. М. Зенова, А. Л. Степанов, А. А. Лихачева, Н. А. Манучарова. М. : Изд-во МГУ, 2002. 120 с.
6. Определитель актиномицетов: роды *Streptomyces*, *Streptoverticillium*, *Chainia* / Г. Ф. Гаузе, Т. П. Преображенская, М. А. Свешникова, Л. П. Терехова, Т. С. Максимова. М. : Наука, 1983. 248 с.
7. Sorting Out Antibiotics' Mechanisms of Action: a Double Fluorescent Protein Reporter for High-Throughput Screening of Ribosome and DNA Biosynthesis Inhibitors / I. A. Osterman, E. S. Komarova, D. I. Shiryayev, I. A. Korniltsev, I. M. Khven, D. A. Lukyanov, V. N. Tashlitsky, M. V. Serebryakova, O. V. Efremenkova, Y. A. Ivanenkov, A. A. Bogdanov, P. V. Sergiev, O. A. Dontsova // Antimicrob Agents Chemother. 2016. Vol. 60. No. 12. P. 7481–7489. doi: 10.1128/AAC.02117-16.
8. Berger J., Jampolsky L. M., Goldberg M. W. Borrelidin a new antibiotic with anti-borrelia activity and penicillin enhancement properties // Arch Biochem. 1949. Vol. 22. P. 476–478.
9. Strain of *Streptomyces*, and relevant uses thereof / M. Shiang, M. Y. Kuo, K. C. Chu, P. C. Chang, H. Y. Chang, H. P. Lee. 2001. US patent 6,193, 964 B1.
10. In vitro and in vivo antimalarial activities of a non-glycosidic 18-membered macrolide antibiotic, borrelidin, against drug-resistant strains of Plasmodia / K. Otoguro, H. Ui, A. Ishiyama, M. Kobayashi, H. Togashi, Y. Takahashi, R. Masuma, H. Tanaka, H. Tomoda, H. Yamada, S. Omura // The Journal of antibiotics. 2003. Vol. 56. No. 8. P. 727–729.
11. Isolation of vivomycin and borrelidin, two antibiotics with anti-viral activity, from a species of *Streptomyces* (C 2989) / M. Lumb, P. E. Macey, J. Spyvee, J. M. Whitmarsh, R. D. Wright // Nature. 1965. Vol. 206. No. 4981. P. 263–265.

12. Borrelidin is an angiogenesis inhibitor; disruption of angiogenic capillary vessels in a rat aorta matrix culture model / T. Wakabayashi, R. Kageyama, R. Naruse N., N. Tsukahara, Y. Funahashi, K. Kitoh, Y. Watanabet // The Journal of antibiotics. 1997. Vol. 50. No. 8. P. 671–676.

13. Borrelidin, a small molecule nitrile-containing macrolide inhibitor of threonyl-tRNA synthetase, is a potent inducer of apoptosis in acute lymphoblastic leukemia / D. Habibi, N. Ogloff, R. B. Jalili, A. Yost, A. P. Weng, A. Ghahary, C. J. Ong // Investigational new drugs. 2012. Vol. 30. No. 4. P. 1361–1370.

14. Chen Y. Y., Chen P. C., Tsay T. T. The biocontrol efficacy and antibiotic activity of *Streptomyces plicatus* on the oomycete *Phytophthora capsici* // Biological Control. 2016. Vol. 98. P. 34–42.

15. Isolation of borrelidin as a phytotoxic compound from a potato pathogenic *Streptomyces* strain / Z. Cao, G. Khodakaramian, K. Arakawa, H. Kinashi // Bioscience, biotechnology, and biochemistry. 2012. Vol. 76. No. 2. P. 353–357.

16. Микроорганизмы-продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение (обзор) / Е. Л. Цавкелова, С. Ю. Климова, Т. Л. Чердынцева, А. И. Нетрусов // Прикладная биохимия и микробиология. 2006. Т. 42. № 2. С. 133–143.

ИЗМЕНЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛАЗНОЙ АКТИВНОСТИ СТРЕПТОМИЦЕТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Н. А. Боков^{1,2}, Я. И. Назарова², И. Г. Широких²

¹ Вятский государственный университет, nikita-bokov@mail.ru

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

В работе изучили влияние продолжительности культивирования на продукцию целлюлаз (активность фермента) местными штаммами *Streptomyces* sp. Мб 4-2 и 1.3. Целлюлазная активность штамма *Streptomyces* sp. Мб 4-2 в 11 раз превосходила активность штамма *Streptomyces* sp. 1.3. Оптимальное время культивирования до получения максимальной целлюлолитической активности для обоих штаммов составило 24 часа, при более продолжительном культивировании активность фермента снижалась. Во время роста культур микроорганизмов отмечали изменения показателя рН культуральной среды. Прямой зависимости между уровнем рН и целлюлазной активностью штаммов не установлено.

Ключевые слова: стрептомицеты, целлюлаза, время культивирования, рН среды

Целлюлазы являются ферментами, получаемыми в промышленных масштабах. Спрос на целлюлазы постоянно растет, вследствие чего, без кардинально новых подходов к производству целлюлаз, значительного снижения цены фермента в ближайшем будущем не ожидается. В структуре высокой стоимости фермента, значительную долю составляют затраты на культивиро-

вание микроорганизмов-продуцентов: чем продолжительнее время культивирования, тем выше затраты [1].

Производство любых ферментов, в том числе и целлюлаз, зависит от многих факторов. Чаще всего, когда говорят об оптимизации процесса культивирования продуцента, подразумевают такие факторы, как изменение рН, температуру, источники углерода и азота [2–4]. Но время культивирования – также достаточно важный параметр. Из литературы известно, что оптимальное время культивирования для получения наибольшей целлюлазной активности изменяется для представителей рода *Streptomyces* от 3 до 7 суток [2, 5]. При более продолжительных сроках культивирования целлюлазная активность падает, на что указывают те же работы. Снижение со временем активности ферментов, в том числе и целлюлаз, связывают с денатурацией фермента из-за изменения рН во время ферментации. К настоящему времени известно, что у разных видов микроорганизмов оптимум рН различен и зависит от структуры целлюлазного комплекса. Для стрептомицетов-целлюлозолитиков в различных работах называют оптимальное значение кислотности в диапазоне от 5 до 7 ед. рН [2, 6]. Поиск штаммов, способных выходить на пик своей целлюлазной активности за меньшее время является перспективной задачей. Такие изоляты не нуждаются в долгосрочном культивировании и выгодны в промышленном производстве целлюлазы. Особую ценность представляют штаммы, способные для роста и продукции фермента утилизировать целлюлозосодержащие отходы.

Цель настоящей работы – выяснить зависимость целлюлазной активности двух местных штаммов стрептомицетов от продолжительности культивирования и, на основе фиксации динамики рН во время ферментации, определить связь между кислотностью среды и целлюлазной активностью.

Объектами исследования были выбраны штаммы *Streptomyces* sp. Мб 4-2 и *Streptomyces* sp. 1.3. Для культивирования использовали жидкую питательную среду следующего состава: (г/л): K_2HPO_4 – 2, NaCl – 2, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 1, $MnSO_4$ – 0,05, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,05, $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ – 2. Поскольку в наших предыдущих исследованиях было установлено, что исследуемые штаммы проявляют наибольший уровень целлюлазной активности, утилизируя различные источники азота [7], для *Streptomyces* sp. Мб 4-2 в среду добавляли NH_4NO_3 , а для *Streptomyces* sp. 1.3 – KNO_3 (в эквивалентных по азоту количествах). В качестве источника углерода использовали солому в количестве 1 об.%, исходное значение кислотности культуральной среды устанавливали равным рН 7,2.

Для выращивания стрептомицетов использовали колбы объемом 250 мл, в которые вносили по 50 мл жидкой питательной среды с добавлением соломы. Инокулятом служили жидкие культуры стрептомицетов (1 мл), выращенные на среде Гаузе 1 в течение 5 суток при 28°C. Число микроорганизмов в 1 мл питательной среды, определенное методом предельных разведений [8], по трехзначной числовой характеристике в таблице Мак-Креди, составляло $1,5 \cdot 10^5$ и $2,5 \cdot 10^6$ для штаммов *Streptomyces* sp. Мб 4-2 и

Streptomyces sp. 1.3 соответственно. Целлюлазную активность стрептомицетов определяли в супернатанте жидких культур спектрофотометрически (540 нм) с реактивом на основе динитросалициловой кислоты (ДНС) [9] через 24, 48, 96 и 168 часов от начала ферментации. Данные временные промежутки были выбраны, руководствуясь сведениями, приведенными в литературе [2, 5]. Активность фермента выражали в усл. ед./10 мин/г биомассы бактерий. Биомассу стрептомицетов измеряли после центрифугирования в течение 10 мин при 6000 об./мин и высушивания при 105°C до постоянного веса.

Значения pH среды определяли сразу после автоклавирования и в течение роста культуры, в те же сроки, что и целлюлазную активность (через 24, 48, 96, 168 часов). Использовали pH-метр pH-150МИ. Во время культивирования показатель кислотности измеряли в двух повторениях.

Статистическая обработка результатов выполнена стандартными методами с использованием программ Microsoft Excel и и Statgraphics [10].

Максимум целлюлазной активности при изучении влияния времени культивирования на продукцию целлюлазы штаммами *Streptomyces* sp. 1.3 и Мб 4-2 наблюдали у обеих культур через 24 часа от начала ферментации. При этом у штамма *Streptomyces* sp. Мб 4-2 целлюлазная активность была в 11,2 раза выше, чем у *Streptomyces* sp. 1.3 (рис. 1).

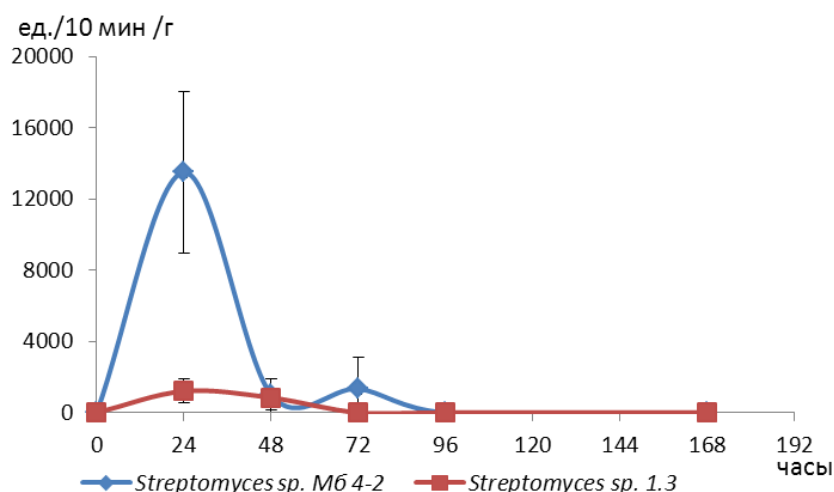


Рис. 1. Изменение целлюлазной активности у двух местных штаммов стрептомицетов в зависимости от продолжительности культивирования

Существенное снижение целлюлазной активности *Streptomyces* sp. Мб 4-2 произошло к 48 часам роста культуры и составило 13,4 крат, тогда как у штамма *Streptomyces* sp. 1.3 падение активности фермента в этот момент времени было не таким значительным и составило всего 1,44 крат. В результате разница между штаммами по активности целлюлаз через 48 часов стала незначительной и укладывалась в интервал погрешности измерений. Через 72 часа культивирования у обоих штаммов наблюдали дальнейшее падение целлюлазной активности, но если у штамма *Streptomyces* sp. 1.3 активность в этот срок наблюдений снизилась до нуля, то у штамма *Streptomyces* sp. Мб 4-2 активность фермента отмечалась несколько дольше – вплоть до 96 часов.

Помимо целлюлазной активности в опыте измеряли рН культуральной среды. В начале культивирования показатель рН среды, снизившийся в результате ее автоклавирования, составлял $6,72 \pm 0,057$ ед. После 24 часов роста культуры *Streptomyces* sp. Мб 4-2 показатель кислотности снизился еще – до $6,1 \pm 0,02$ ед. рН (рис. 2), что соответствовало максимуму в проявлении целлюлазной активности данного штамма (рис. 1).

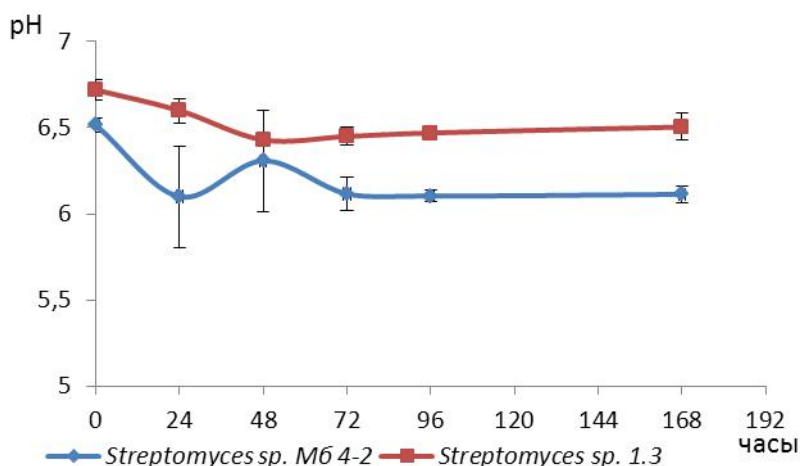


Рис. 2. Изменение кислотности культуральной среды в зависимости от продолжительности культивирования

Дальнейшие флуктуации показателя кислотности в культуральной среде *Streptomyces* sp. Мб 4-2 были выражены слабо, но повторное снижение рН через 72 часа роста культуры (рис. 2) совпало по времени с повторным увеличением ее целлюлазной активности (рис. 1).

При выращивании штамма *Streptomyces* sp. 1.3 показатели рН культуральной среды отмечены на уровне, достоверно более высоком, чем у штамма *Streptomyces* sp. Мб 4-2, и варьировали в узких пределах – от 6,72 до 6,45 ед. рН. Сопоставление этих данных с результатами определения целлюлазной активности штамма показали, что им отвечали гораздо меньшие, чем у штамма *Streptomyces* sp. Мб 4-2, значения активности фермента, которые изменялись во времени тоже в небольшом диапазоне – от 841 до 1208 усл. ед./10 мин/г.

Корреляционный анализ полученных данных не выявил достоверной связи между показателями кислотности культуральной среды и активностью целлюлазы у стрептомицетов ($r = -0,34$ при $p \geq 0,33$). Однако, учитывая малочисленность анализируемых выборок, можно допустить существование такой связи и, в последующей работе, сосредоточить усилия на выяснении характера этой связи и установлении значений кислотности, способствующих более раннему и продолжительному проявлению штаммом целлюлазной активности.

Таким образом, в ходе проделанной работы установлено, что оптимальная для продукции целлюлаз продолжительность роста местных штаммов *Streptomyces* sp. Мб 4-2 и 1.3 составляет 24 часа. Это значительно меньше, чем в сообщениях других авторов, работавших со стрептомицетами-целлюлозолитиками. В большей части подобных исследований оптимальным

периодом времени являлись 3–7 сутки культивирования стрептомицетов, в одной из работ есть упоминание, что целлюлазная активность максимальна после 24 часов роста культуры [11]. Местные штаммы *Streptomyces* sp. Мб 4-2 и 1.3, ввиду столь раннего достижения пика в продукции целлюлаз (24 час), представляют интерес для дальнейшего изучения, в том числе – выяснения влияния на целлюлазную активность фактора подкисления культуральной среды, а также наличия в среде микро- и макроэлементов и витаминов. Особенно может быть интересен для практического использования штамм *Streptomyces* sp. Мб 4-2, продемонстрировавший после непродолжительного культивирования (24 часа) высокую целлюлазную активность (13494 усл. ед./10 мин/г), при использовании в качестве источника углерода такого доступного и дешевого субстрата, как солома.

Библиографический список

1. Global Industrial Enzymes by Product, Market and Region, 7th Edition [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.freedoniagroup.com/industry-study/global-industrial-enzymes-by-product-market-and-region-7th-edition-3593.htm> (дата обращения: 16.03.2022).
2. Sinjaroonsak S., Chaiyaso T., H-Kittikun A. Optimization of Cellulase and Xylanase Productions by *Streptomyces thermocoprophilus* TC13W Using Low Cost Pretreated Oil Palm Empty Fruit Bunch // Waste Biomass Valor. 2020. Vol. 11 P. 3925–3936. doi.org/10.1007/s12649-019-00720-y
3. A Cellulolytic *Streptomyces* sp. Isolated from a Highly Oligotrophic Niche Shows Potential for Hydrolyzing Agricultural Wastes / S. Celaya-Herrera, L. E. Casados-Vázquez, I. Valdez-Vazquez, F. Barona-Gómez // BioEnergy Research. 2021. Vol. 14. P. 333–343. doi: 10.1007/s12155-020-10174-z
4. Rajanikanth A., Damodharam T. Biocatalysis of agro-processing waste by marine *Streptomyces fungicidicus* strain RPBS-A4 for cellulase production // Journal of Applied Biology & Biotechnology. 2015. Vol. 6 No. 1. P. 38–42. doi: 10.7324/JABB.2018.60107
5. Fatokun E. N., Nwodo U. U., Okoh A. I. Classical Optimization of Cellulase and Xylanase Production by a Marine *Streptomyces* Species // Appl. Sci. 2016. Vol. 6. No. 10. P. 1–14. doi.org/10.3390/app6100286
6. Budihal R. S., Agsar D., Patil S. R. Enhanced production and application of acidothermophilic *Streptomyces* cellulose // Bioresource Technology. 2016. Vol. 200. P. 706–712. doi: 10.1016/j.biortech.2015.10.098.
7. Широких И. Г., Боков Н. А., Назарова Я. И. Влияние источников азота в питательной среде на рост и целлюлазную активность стрептомицетов // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2021. № 5(51). С. 61–65. doi: 10.19110/1994-5655-2021-5-61-65.
8. Нетрусов А. И., Егоров М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М. : Академия, 2005. 608 с.
9. Miller G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // Analytical Chemistry. 1959. Vol. 31. No. 3. P. 426–442. doi: 10.1021/ac60147a030
10. Richard J., Sundar Rao P. S. S. Introduction to Biostatistics and Research Methods. New Delh. : PHI Learning Pvt. Ltd, 2012. 280 p.
11. Novel Approaches for Identification of *Streptomyces noboritoensis* TBG-V20 with Cellulase Production / R. Arunachalam, E. G. Wesely, J. George, G. Annadurai // Current Research in Bacteriology. 2010. Vol. 3. No. 1. P. 15–26. doi: 10.3923/crb.2010.15.26.

ПРОДУЦИРОВАНИЕ ФЕРМЕНТОВ АКТИНОБАКТЕРИЯМИ, ВЫДЕЛЕННЫМИ ИЗ БИОПЛЕНКИ СИСТЕМЫ ОЗЕР «LA IZVOR» (г. КИШИНЕВ)

С. А. Бурцева, М. Н. Бырса, В. И. Чеботарь

Институт микробиологии и биотехнологии, Республика Молдова,

burtseva.svetlana@gmail.com

В статье представлены результаты определения способности представителей 6 родов актинобактерий выделенных из биопленки озерной системы «La Izvor» («У Источника», г. Кишинев) продуцировать такие ферменты, как амилаза, каталаза, целлюлаза и липаза. В результате анализа полученных данных установлено, что из 9-ти изученных штаммов 7 штаммов обладали способностью продуцировать амилазу с различным уровнем активности. У 4-х штаммов, отнесенных к роду *Streptomyces*, была обнаружена амилаза невысокой активности, как и у штамма из рода *Actinoplanes* и *Micromonospora*, тогда как у штаммов рода *Frankia* она была средней активности. Липаза была выявлена у 2-х штаммов из рода *Actinoplanes* и рода *Streptomyces* – средней активности. Пять штаммов показали невысокую каталазную активность. Обнаружен штамм рода *Actinoplanes* с высокой каталазной активностью.

Ключевые слова: актинобактерии, биопленка, система озер, ферменты.

Известно, что биопленка – это один из способов существования микроорганизмов во внешней среде. Биопленки состоят из различных видов микроорганизмов, включая бактерии, грибы, одноклеточные водоросли. Несмотря на то, что переход в состояние биопленки является ответом микробной популяции на неблагоприятные условия, не все стрессоры стимулируют этот процесс. Скорее всего, для образования биопленки необходимы относительно благоприятные условия, которые способствуют лучшему росту микроорганизмов (температура и источники углерода). Усиление биопленки может вызывать внесение в среду соединений, благоприятно воздействующих на микробные клетки: антибиотики, растительные метаболиты, тяжелые металлы, при условии, что концентрация стрессоров не должна быть губительной для микроорганизмов [1]. Используя современные методы, были определены в бактериальных сообществах биопленки представители *Proteobacteria*, *Planctomyces*, *Actinobacteria*, *Verrucomicrobia*, *Firmicutes*, *Bacteroides*, а также аммоний-окисляющие бактерии. Русские ученые при выявлении биоразнообразия планктона *Nitrosomonas* и биопленки пресных озер выявили представителей оксигенных фототрофных микроорганизмов – диатомовые и зеленые водоросли, цианобактерии, а также гетеротрофные бактерии с доминированием *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Actinobacteria* [2, 3].

И. А. Теркина в своих исследованиях установила, что для актинобактерий озера Байкал характерна высокая ферментативная активность. Более 70% штаммов *Streptomyces* проявляют фосфатазную, протеазную и липазную активности и около 60% штаммов *Micromonospora* – фосфатазную, липазную, амилазную и целлюлазную активности. Также, 93% процента штаммов *Streptomyces* усваивают крахмал и 63% разрушают целлюлозу. Дальнейшие исследования показали следующее: представители родов *Streptomyces* и *Micromonospora* способны расщеплять целлюлозу и фталаты [4].

По современным представлениям, 95–99% микроорганизмов в природных местах обитания существуют в виде биопленок. Как правило, биопленки формируются в проточных системах, содержащих необходимые для роста субстраты. На процесс формирования биопленок и их свойства влияют факторы окружающей среды и свойства клеток самого микроорганизма. Наиболее важными внешними факторами являются рН, соленость, парциальное давление, O₂, доступность источников питания, сила и тип движения жидкости относительно поверхности и др. [5].

Водные биопленки колонизируют различные поверхности речных и озерных систем и играют важную роль в водной экологии. В первую очередь поверхность естественных субстратов в воде быстро колонизируют бактерии, формируют различные уникальные микробные экосистемы типа эпифитон и др. В таких биопленках были найдены различные представители бактерий, в том числе и *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroides*, *Acidobacteria*, а также и *Actinobacteria* [6–8].

В литературе встречаются публикации и о мультивидовых биопленках в медицине, биотехнологии. Биопленки могут выполнять роль агентов биоконтроля в ризосфере растений, так как микроорганизмы, входящие в состав биопленок способны синтезировать антимикробные вещества, используемые для защиты от патогенов [9–11].

Биопленки – это один из способов существования микроорганизмов во внешней среде. Они формируются в самых различных экологических нишах. Считается, что стрептомицеты способны формировать биопленки как моновидовые, так и с другими ассоциированными микроорганизмами. Несмотря на то, что переход в состояние биопленки является ответом микробных популяций на неблагоприятные условия, не все стрессоры формируют этот процесс. Скорее всего для образования биопленки необходимы относительно благоприятные условия, которые способствовали бы лучшему росту микробных популяций (в частности, температура, источники углерода и др.) [1, 6, 12–14].

Целью исследований было определение способности выделенных из биопленки системы озер «La Izvor» штаммов актинобактерий продуцировать амилазу, каталазу, липазу и целлюлазу.

В результате отбора проб озерной биопленки, и их посева на различные агаризованные среды с добавлением антибиотических веществ, были выделены 9 штаммов актинобактерий: по одному штамму принадлежащих к родам

Actinoplanes, *Frankia*, *Geodermatophilus*, *Micromonospora*, *Nocardia*; и 4 штамма принадлежащих к роду *Streptomyces* (табл.).

Таблица

**Энзиматическая активность актинобактерий,
выделенных из биопленки озерной системы «La Izvor» (г. Кишинев)**

Род актинобактерий	№ штамма	Амилаза	Каталаза	Целлюлаза	Липаза
<i>Actinoplanes</i>	В 2.1	+	+++	–	++
<i>Frankia</i>	В 3.1	++	+	–	–
<i>Geodermatophilus</i>	В 4.1	–	+	–	–
<i>Micromonospora</i>	В 5.1	+	++	–	–
<i>Nocardia</i>	В 6.1	–	+	–	–
<i>Streptomyces</i>	В 8.1	+	+	–	++
	В 8.2	+	–	–	–
	В 8.3	+	–	–	–
	В 8.4	+	+	–	–

Опыты по определению амилазной активности позволили выявить только один штамм рода *Frankia* В 3.1, который обладает средней (++) активностью; у 6 штаммов низкая (+) активность, а у 2-х штаммов она отсутствовала.

Определение каталазной активности показало, что штамм *Actinoplanes* В 2.1 проявляет высокую (+++) активность, тогда как *Micromonospora* В 5.1 среднюю (++) активность. У 5 штаммов она была (+) низкая, а у штаммов рода *Streptomyces* В 8.2 и В 8.3 она отсутствует. Средняя (++) активность по липазе была зафиксирована у 2-х штаммов (*Actinoplanes* В 2.1 и *Streptomyces* В 8.1), а у остальных 7-ми она полностью отсутствовала. Ни один из выделенных штаммов не проявил целлюлолитических свойств.

В результате анализа полученных данных установлено, что из 9-ти изученных штаммов 7 штаммов обладали способностью продуцировать амилазу с различным уровнем активности. У 4-х штаммов, отнесенных к роду *Streptomyces* (В 8.1, В 8.2, В 8.3, В 8.4) была обнаружена невысокая амилазная активность, как и у штамма из рода *Actinoplanes* (В 2.1) и *Micromonospora* (В 5.1), тогда как у штаммов рода *Frankia* (В 3.1) она была средней активности. Липаза была выявлена у 2-х штаммов из рода *Actinoplanes* (В 2.1) и рода *Streptomyces* (В 8.1) – средней активности. Пять штаммов показали невысокую каталазную активность. Обнаружен штамм рода *Actinoplanes* (В 2.1) с высокой каталазной активностью.

Штаммы обладающие высокой и средней энзиматической активностью пополнят Национальную коллекцию непатогенных микроорганизмов.

Исследования финансировались в рамках проекта 20.80009.7007.09 (ANCD).

Библиографический список

1. Биопленки как стратегия выживания микробных популяций при неблагоприятных условиях / Ю. А. Маркова, А. Л. Турская, М. А. Живетьев, М. Г. Соколова // Факторы устойчивости растений и микроорганизмов в экстремальных природных условиях и техногенной среде : материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием и школы молодых

ученых (Иркутск, 12–15 сентября 2016 г.). Иркутск : Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 131–132.

2. Сообщества микроорганизмов с потенциально высокой толерантностью к высоким концентрациям фосфата из водоемов в окрестностях г. Апатиты / П. А. Зайцев, А. А. Осипова, А. А. Кублановская, К. А. Чеканов // Микроорганизмы: вопросы экологии, физиологии, биотехнологии : Всерос. конф. с междунар. участием. М. : МГУ имени М. В. Ломоносова, 2019. С. 45.

3. Parfenova V. V., Gladkikh A. S., Belykh O. I. Comparative analysis of biodiversity in the planktonic and biofilm bacterial community in Lake Baikal // *Microbiology*. 2013. Vol. 82. No. 1. P. 91–101.

4. Теркина И. А. Актиномицеты рода *Streptomyces* и рода *Micromonospora* в микробном сообществе озера Байкал : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16. Иркутск, 2004. 18 с.

5. Николаев Ю. А., Плаунов В. К. Биопленка – «город микробов» или аналог многоклеточного организма? // *Микробиология*. 2007. Т. 76. № 2. С. 149–163.

6. Биопленки, формируемые стрептомицетами / К. А. Виноградова, В. Г. Булгакова, А. Н. Полин, П. А. Кожевин // *Современные проблемы физиологии, экологии и биотехнологии микроорганизмов : Всерос. симпозиум с междунар. участием*. М. : МАКС Пресс, 2014. С. 53.

7. Analysis of biofilm bacterial communities under different shear stresses using size-fractionated sediment / H. Fang, Y. Chen, L. Huang G. , He // *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. No. 1. P. 2199. doi: 10.1038/s41598-017-01446-4.

8. Pohlson E., Marxsen J., Küsel K. Pioneering bacterial and algal communities and potential extracellular enzyme activities of stream biofilms // *FEMS Microbiology Ecology*. 2010. Vol. 71. No. 3. P. 364–373. doi: 10.1111/j.1574-6941.2009.00817.x

9. Кожевникова А. Н., Бочкова Е. А., Плаунов В. К. Мультивидовые биопленки в экологии, медицине и биотехнологии // *Микробиология*. 2015. Т. 84. № 6. С. 623–644. doi: 10.7868/S0026365615060117

10. Molina M. A., Ramos J. L., Espinosa-Urgel M. Plant-associated biofilms // *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2003. Vol. 2. No. 2–4. P. 99–108.

11. Rudrappa T., Biedrzycki M. L., Bais H. P. Causes and consequences of plant-associated biofilms // *FEMS Microbiology Ecology*. 2008. Vol. 64. No. 2. P. 153–166. doi: 10.1111/j.1574-6941.2008.00465.x.

12. Виноградова К. А., Булгакова В. Г., Полин А. Н. Стрептомицеты в свете концепции «многоклеточности» бактерий // *Антибиотики и Химиотерапия*. 2016. Т. 61. № 7–8. С. 33–47.

13. О биопленках стрептомицетов. I. Распространение и формирование / К. А. Виноградова, В. Г. Булгакова, А. Н. Полин, П. А. Кожевин // *Антибиотики и Химиотерапия*. 2015. Т. 60. № 1–2. С. 39–46.

14. Properties of bacterial communities attached to artificial substrates in a hypereutrophic urban river / X. Cai, L. Yao, Q. Sheng, L. Jiang // *AMB Express*. 2018. Vol. 8. No. 22. P. 1–11. doi: 10.1186/s13568-018-0545-z

ЭНЗИМАТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АКТИНОБАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПРИДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ «LA IZVOR» (г. КИШИНЕВ)

М. Н. Бырса, С. А. Бурцева, В. И. Чеботарь

*Институт микробиологии и биотехнологии, Республика Молдова,
mellon23@yandex.ru*

У выделенных из придонных иловых отложений озерной системы «La Izvor» (г. Кишинев) 36 штаммов актинобактерий была определена энзиматическая активность по амилазе, каталазе, целлюлазе и липазе. Выявлены штаммы с высокой липазной (1 штамм), каталазной активностью (2 штамма) и средней липазной активностью (1 штамм). Штаммы, показавшие высокую и среднюю энзиматическую активность по каталазе и липазе, пополняют Национальную коллекцию непатогенных микроорганизмов.

Ключевые слова: актинобактерии, придонные отложения, энзиматическая активность.

Водные экосистемы в виде озер в различных регионах обеспечивают человеку незаменимые водные ресурсы. Микробиомы озерных экосистем являются подходящими биоресурсами для сельского хозяйства, промышленности и смежных секторов.

За последние несколько десятилетий оценки микробного богатства на Земле сильно различались. Например, Mora et al. (2011) предсказали присутствие около 611000 таксонов грибов, 36400 протистов и 9680 бактерий на Земле (включая океаны), основываясь на предсказуемой структуре разнообразия на самом высоком таксономическом уровне [1, 2].

Однако глобальное микробное богатство, вероятно, недооценивается, поскольку, например, недавние исследования показали, что пресноводные системы игнорируются, хотя и характеризуются высоким микробным разнообразием [3].

Для изучения пресноводных бактерий было проведено множество исследований в различных уголках Земли и все же нет полной картины того, как бактериальное сообщество связано с параметрами качества воды и условиями окружающей среды в пресных водах, где происходит прямой контакт человека с микроорганизмами. Все более становится ясным, что микробы играют центральную роль в глобальных экологических процессах и биогеохимии Земли, причем бактерии являются одним из самых важных компонентов микробного сообщества, которые в водных экосистемах отвечают за процессы минерализации органических веществ и круговорота питательных веществ [2, 4, 5].

Однако из-за высокой сложности бактериального разнообразия и небольшой доли бактерий, которые могут быть культивированы, знания о дви-

жущих факторах состава бактериального сообщества оставались неуловимыми до последних десятилетий.

Пресноводная среда традиционно изучалась с упором на ее физические и химические характеристики и состав сообществ. От сообществ водорослей до рыб и экологии этих сообществ посвящено значительное количество литературы. В контексте управления окружающей средой, сдвиги в составе сообществ использовались как индикаторы сдвигов в водных объектах в результате изменения как внутренних (т. е. физических и химических свойств водной толщи или времени удерживания), так и внешних (т. е. климатических условий, органических веществ и питательных веществ) процессов [6–8]. Что касается микробных сообществ, было показано, что абиотические (например, температура, кислород, рН, проводимость, прозрачность воды, концентрация органических веществ и способность к биологическому разложению, питательные вещества и пр.), а также биотические (содержание хлорофилла, взаимодействия с факторами фито- и зоопланктона, конкуренция) регулируют временные и пространственные сдвиги микробных сообществ в водной среде [6, 9–13].

Целью проводимых исследований было определить энзиматическую активность актинобактерий, выделенных из придонных иловых отложений озерной системы «La Izvor» (г. Кишинев).

Опыты показали, что новые штаммы актинобактерий, выделенные из придонных иловых отложений, по-разному проявляли энзиматическую активность в зависимости от принадлежности к тому или иному роду. Так, из 36 штаммов 26 штаммов обладали невысокой (+) амилолитической активностью, а именно: 5 штаммов р. *Actinomadura*, 4 штамма р. *Actinoplanes*, 1 штамм р. *Frankia*, 4 штамма р. *Geodermatophilus*, 3 штамма р. *Micromonospora*, 1 штамм р. *Nocardia*, 3 штамма р. *Rhodococcus* и 5 штаммов р. *Streptomyces* (табл.).

Определение каталазной активности выявило следующее: 2 штамма, принадлежащие к р. *Actinoplanes* (штамм N 2.1) и р. *Geodermatophilus* (штамм N 4.6) показали высокую (+++) активность. У 9 штаммов, принадлежащих к роду *Actinomadura* (штаммы N 1.3, N 1.5), *Actinoplanes* (штамм N 2.5), *Micromonospora* (штаммы N 5.3, N 5.5, N 5.6), *Nocardia* (штамм N 6.2), *Rhodococcus* (штамм N 7.1), *Streptomyces* (штамм N 8.6) была средняя (++) активность. У 16 штаммов актинобактерий обнаружена невысокая (+) активность, причем, если у представителей р. *Actinomadura* и *Nocardia* это было по 1 штамму, у штаммов р. *Geodermatophilus* и *Rhodococcus* – по 2 штамма, то у р. *Actinoplanes*, *Micromonospora* – по 3 штамма, а у представителей р. *Streptomyces* – 4 штамма (табл.).

Из 36 штаммов актинобактерий, выделенных из придонных иловых отложений системы озер («La Izvor» – «У Источника»), только 3 штамма (1 штамм р. *Actinomadura* – N 1.4 и 2 штамма р. *Streptomyces* – N 8.1, N 8.2) показали невысокую (+) целлюлазную активность (табл.).

По уровню липазной активности из 36 штаммов только 12 штаммов проявили себя как штаммы с разным уровнем активности. Так, например,

только 1 штамм р. *Actinomadura* (N 1.1) показал высокую (+++) активность, 1 штамм р. *Actinomadura* (N 1.4) – среднюю (++) и 10 штаммов – невысокую (+) активность, среди которых были представители р. *Actinoplanes* (2 штамма – N 2.3, N 2.4), р. *Frankia* (1 штамм – N 3.2), р. *Geodermatophilus* (1 штамм – N 4.5), р. *Micromonospora* (2 штамма – N 5.2, N 5.4), р. *Nocardia* (1 штамм – N.6.1), р. *Rhodococcus* (1 штамм – N 7.2), р. *Streptomyces* (2 штамма – N 8.1, N 8.2) (табл.).

Таблица

**Энзиматическая активность актинобактерий, выделенных
из придонных иловых отложений озерной системы «La Izvor»
(г. Кишинев)**

Род актинобактерий	№ штамма	Амилаза	Каталаза	Целлюлаза	Липаза
<i>Actinomadura</i>	N 1.1	+	–	–	+++
	N 1.2	+	+	–	–
	N 1.3	+	++	–	–
	N 1.4	+	–	+	++
	N 1.5	+	++	–	–
<i>Actinoplanes</i>	N 2.1	–	+++	–	–
	N 2.2	+	+	–	–
	N 2.3	+	+	–	+
	N 2.4	+	+	–	+
	N 2.5	+	++	–	–
<i>Frankia</i>	N 3.1	–	–	–	–
	N 3.2	+	–	–	+
<i>Geodermatophilus</i>	N 4.1	+	–	–	–
	N 4.2	+	+	–	–
	N 4.3	+	+	–	–
	N 4.4	–	–	–	–
	N 4.5	+	–	–	+
	N 4.6	–	+++	–	–
<i>Micromonospora</i>	N 5.1	+	+	–	–
	N 5.2	–	+	–	+
	N 5.3	–	++	–	–
	N 5.4	+	+	–	+
	N 5.5	–	++	–	–
	N 5.6	+	++	–	–
<i>Nocardia</i>	N 6.1	+	+	–	+
	N 6.2	–	++	–	–
<i>Rhodococcus</i>	N 7.1	+	++	–	–
	N 7.2	+	+	–	+
	N 7.3	+	+	–	–
	N 7.4	–	–	–	–
<i>Streptomyces</i>	N 8.1	+	+	+	+
	N 8.2	+	+	+	+
	N 8.3	+	+	–	–
	N 8.4	+	+	–	–
	N 8.5	–	–	–	–
	N 8.6	+	++	–	–

То есть, можно отметить, что из придонных иловых отложений озерной системы «La Izvor» удалось более всего обнаружить штаммы, отличающиеся невысокой (+) амилазной, каталазной и липазной активностью (26, 9 и 10 штаммов соответственно). Штаммов со средней каталазной и липазной активностью было выявлено всего 10 штаммов (9 и 1 штамм соответственно). Высокую каталазную или липазную активность показали всего 3 штамма (2 и 1 штамм соответственно).

Определенный интерес представляет и такой факт, что, например, выявлены штаммы, характеризующиеся наличием энзиматической активности по 3-м или 4-м ферментам. Так, у штамма рода *Actinoadura* (N 1.4) была зафиксирована невысокая (+) амилолитическая и целлюлазная активность, а также средняя (++) липазная активность, у штамма рода *Micromonospora* (N 5.4) – невысокая (+) амилолитическая, каталазная и липазная активность, а у штамма р. *Streptomyces* (N 8.1) – невысокая (+) активность по всем 4-м определяемым ферментам (табл.).

Таким образом, проведенные исследования показали, что вновь выделенные из придонных иловых отложений озерной системы «La Izvor» (г. Кишинев) штаммы актинобактерий обладают способностью продуцировать такие ферменты, как амилаза, каталаза, липаза и целлюлаза с разным уровнем активности. Выявлены штаммы с высокой липазной (1 штамм), каталазной активностью (2 штамма), а также средней каталазной активностью (9 штаммов) и средней липазной активностью (1 штамм). Эти штаммы, принадлежащие к р. *Actinoadura*, *Actinoplanes*, *Geodermatophilus*, *Micromonospora*, *Streptomyces* пополняют Национальную коллекцию непатогенных микроорганизмов.

Исследования финансировались в рамках проекта 20.80009.7007.09 (ANCD).

Библиографический список

1. Blackwell M. The Fungi: 1, 2, 3 . . . 5.1 million species? // American Journal of Botany. 2011. Vol. 98. No. 3. P. 426–438. doi: 10.3732/ajb.1000298.
2. How many species are there on Earth and in the ocean? / C. Mora, D. P. Tittensor, S. M. Adl, A. Simpson // PLoS Biology. 2011. Vol. 9. No. 8. P. e1001127. doi: 10.1371/journal.pbio.1001127.
3. The status of the microbial census: an update / P. D. Schloss, R. Girard, T. Martin, J. Edwards // MBio. 2016. Vol. 7. No. 3. P. 1–31. doi: 10.1128/mBio.00201-16.
4. Overview of freshwater microbial eukaryotes diversity: a first analysis of publicly available metabarcoding data / D. Debroy, I. Domaizon, J.-F., Humbert L. Jardillier // FEMS Microbiology Ecology. 2017. Vol. 93. No. 4. doi: 10.1093/femsec/fix023.
5. Yadav N., Kour D., Yadav A. N. Microbiomes of freshwater lake ecosystems // Journal of Microbiology & Experimentation. 2018. Vol. 6. No. 6. P. 245–248. doi: 10.15406/jmen.2018.06.00223.
6. Diversity predicts stability and resource use efficiency in natural phytoplankton communities / R. Ptacnik, A. G. Solimini, T. Andersen, T. Tamminen // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2008. Vol. 105. No. 13. P. 5134–5138. doi:10.1073/pnas.0708328105.

7. Emerging horizons in biodiversity and ecosystem functioning research / J. Reiss, J. R. Bridle, J. M. Montoya, G. Woodward // Trends in Ecology and Evolution. 2009. Vol. 24. No. 9. P. 505–514. doi:10.1016/j.tree.2009.03.018.

8. Weyhenmeyer G. A., Peter H., Willén E. Shifts in phytoplankton species richness and biomass along a latitudinal gradient – consequences for relationships between biodiversity and ecosystem functioning // Freshwater Biology. 2012. Vol. 58. No. 3. P. 612–623. doi: 10.1111/j.1365-2427.2012.02779.x

9. Spatio-temporal patterns of bacterioplankton production and community composition related to phytoplankton composition and protistan bacterivory in a dam reservoir / K. Simek, K. Hornák, J. Jezbera, J. Nedoma // Aquatic Microbial Ecology. 2008. Vol. 51. No. 3. P. 249–262. doi: 10.3354/ame01193

10. Jones S. E., Newton R. J., McMahon K. D. Evidence for structuring of bacterial community composition by organic carbon source in temperate lakes // Environmental Microbiology. 2009. Vol. 11. No. 9. P. 2463–2472. doi: 10.1111/j.1462-2920.2009.01977.x

11. The interplay between bacterial community composition and the environment determining function of inland water bacteria / E. S. Lindström, X. M. Feng, W. Granéli, E. S. Kritzberg // Limnology and Oceanography. 2010. Vol. 55. No. 5. P. 2052–2060. doi: 10.4319/lo.2010.55.5.2052.

12. Effects of large river dam-regulation on bacterioplankton community structure / C. Ruiz-González, L. Proia, I. Ferrera, J. M. Gasol // FEMS Microbiology Ecology. 2013. Vol. 84. No. 2. P. 316–331. doi:10.1111/1574-6941.12063.

13. Bacterial community composition in three freshwater reservoirs of different alkalinity and trophic status / M. Lliros, O. Inceoglu, T. Garcia-Armisen, A. Anzil // PLoS ONE. 2014. Vol. 9. No. 12. P. e116145. doi: 10.1371/journal.pone.0116145.

**ФЕРМЕНТАТИВНАЯ И ПРОТИВОГРИБКОВАЯ
СПОСОБНОСТЬ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ,
ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ОЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ «LA IZVOR»
(г. КИШИНЕВ)**

Т. Ф. Сырбу, О. П. Цуркан

*НКНМ Института микробиологии и биотехнологии,
Республика Молдова,
turcanolga2019@mail.ru*

Из 26 выделенных штаммов микроводорослей были отобраны восемь штаммов для изучения их противогрибковой и ферментативной активности (амилаза, каталаза, целлюлаза, липаза): *Oscillatoria acutissima*; *O. planktonica*; *O. brevis*; *O. acutissima*; *Spirulina major*; *A. variabilis*; *Nostoc verrucosum* и *Chlorella vulgaris*. Таким образом, *Chlorella vulgaris*, *Oscillatoria acutissima* и *Spirulina major* оказывают более выраженное ингибирующее действие на фитопатоген *Alt. alternata*, зоны варьировать в пределах 24–25 мм. Четыре культуры *O. planktonica*, *C. vulgaris*, *O. brevis* и *O. acutissima* проявляли противогрибковую активность в отношении *A. niger*, следует отметить, что определенное действие проявляли цианобактерии *O. brevis*, зона ингибирования которых составляла 40 мм. Также штаммы *O. planktonica*, *C. vulgaris*, *O. acutissima*, *S. major* и *A. variabilis* проявили активное ингибирующее действие фи-

топатогена *B. cinerea*, где наиболее активен *O. acutissima* (зона 24 мм). Большинство исследованных штаммов микроводорослей обладают высокой ферментативной активностью к 4 указанным ферментам.

Ключевые слова: микроводоросли, цианобактерии, ферментативная и противогрибковая активность.

Водоросли являются неотъемлемой частью водных и наземных экосистем. Они выполняют процессы превращения солнечной энергии в химическую энергию, т. е. продукты фотосинтеза в большие масштабы, необходимые для поддержания жизни и круговорота материи и энергии в биосфере планеты Земля, создает энергетическую базу для существования организмов с другим трофическим уровнем.

Известно, что микроводоросли являются ценными источниками биологически активных веществ, таких как β -каротин, астаксантин, фикоцианин, омега-3 жирные кислоты, полисахариды, незаменимые аминокислоты и др. Существует также много потенциальных коммерческих применений микроводорослей, в том числе в бумажной промышленности в качестве волокнистых/полимерных композитов, в косметологии, в восстановлении почв, в качестве добавок в корма для животных, для фиторемедиации, в лечебных добавках [1, 2].

Ученые в настоящее время озабочены поиском возобновляемых и экологически устойчивых источников производства ферментов, без которых не могут протекать биологические реакции и которые используются при оптимизации многих промышленных процессов, таких как синтез фармацевтических препаратов, производство пищевых продуктов, производство агрохимикатов, искусственные ароматизаторы, биополимеры, биологической реабилитации и биомониторинга, и многое др. [3]. С этой точки зрения микроводоросли очень перспективны, поскольку их можно выращивать в фотобиореакторах, что позволяет экономически эффективным способом производить большие объемы биомассы [4].

Известно, что биопленки водных бассейнов, состоящие в основном из бактерий, грибов, водорослей и др. и представляющие собой матрицу внеклеточных веществ, обладают способностью разлагать органическое вещество за счет внеклеточных ферментов. В последние десятилетия микроводоросли становятся все более популярной темой в исследованиях и проектах по разработке технологий, основное внимание в которых уделяется к их устойчивому развитию в различных типах сточных вод. Благодаря их способности размножаться в среде, богатой питательными веществами, и био-секвестрировать ионы тяжелых металлов, они являются идеальными организмами для использования в стратегиях биоремедиации [5].

Исследования Wang et al. (2010) показали способность микроводорослей *Chlorella* sp., *Scenedesmus* sp. и *Muriellopsis* sp. удалять 56–

100%, таких металлов как железо, алюминий, марганец, магний и цинк из сточных вод [6].

В настоящее время микроводоросли и цианобактерии привлекают внимание исследователей в связи с их использованием в качестве альтернативного источника антибиотиков. Одним из первых выделенных противомикробных соединений является хлорелин из *Chlorella* sp. который представляет собой смесь жирных кислот, подавляющую рост как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий [7]. Было показано, что эйкозапентаеновая кислота (ЭПК), гексадекатриеновая кислота и пальмитолеиновая кислота в *Phaeodactylum tricorutum* обладают антимикробной активностью против метициллин-резистентного грамположительного штамма *Staphylococcus aureus* [8].

Микроводоросли и цианобактерии также проявляют противогрибковую и противовирусную активность в отношении широкого спектра микроорганизмов. Гасеми и др. (2007) сообщили, что метанольные и гексановые экстракты *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* и *Oocystis* sp. предотвращают рост *Aspergillus niger*, *Candida kefyr* и *Aspergillus fumigatus* [9].

Таким образом, целью исследования было определение антимикробной и ферментной активности (амилазной, каталазной, целлюлазной и липазной) некоторых микроводорослей, выделенных из воды озера «Ла Извор» (г. Кишинев).

Из озера, расположенного в парке «Ла Извор», для изучения и исследования были отобраны 8 штаммов микроводорослей, представляющих интерес для биотехнологии благодаря своим биохимическим характеристикам и свойствам. Культуры выделяли посевом на жидкие минеральные питательные вещества и агар на чашки Петри. Для определения антимикробной активности в отношении фитопатогенных культур бактерий и грибов из Национальной коллекции непатогенных микроорганизмов Института микробиологии и биотехнологии использовали водно-спиртовые экстракты (60–70%) из биомассы микроводорослей.

Лунки формировали на агаризованной среде, распределенной по чашкам Петри, с посевом фитопатогенной культуры, куда добавляли спиртовые экстракты (60–70%) из исследуемых культур микроводорослей и цианобактерий. Чашки Петри инкубировали в течение 48–72 час при 30 °С. Определяли диаметр зон угнетения роста фитопатогенных тест-культур [10].

Таким образом, в результате проведенных экспериментов было установлено, что 8 отобранных штаммов микроводорослей проявляли противогрибковую активность в отношении *Alt. alternata*, особенно *Oscillatoria acutissima* и *Spirulina major* проявляли явный ингибирующий эффект (зоны ингибирования более 24 мм и 25 мм в диаметре, соответственно). Экстракты биомассы цианобактерий из *O. planctonica*, *O. brevis*, *O. acutissima* и *Chlorella vulgaris*, показали ингибирующее действие на рост *Aspergillus niger*, из которых очень выраженное действие продемонстрировали цианобактерии *O. brevis* (40 мм). Следует отметить, что

экстракты биомассы цианобактерий *Oscillatoria planctonica*, *O. acutissima*, *Chlorella vulgaris*, *Spirulina major* и *Anabaena variabilis* подавляли рост патогенных грибов *Botrytis cinerea*. Ингибирующее действие на рост патогенного грибка *Fusarium solani* оказывали экстракты из *O. planktonica*, *O. acutissima*, *Spirulina major*, *Anabaena variabilis* и *Nostoc verrucosum*. *Chlorella vulgaris* проявляла более выраженное действие (24 мм). Только цианобактерия *Oscillatoria acutissima* проявляла ингибирующее действие на рост гриба *Fusarium oxysporum* (зона ингибирования 30 мм).

Таблица 1

**Противогрибковая активность микроводорослей,
выделенных из воды озера Ла Извор**

Водоросли		Грибковые культуральные тесты, Ø зоны ингибирования (мм)				
		<i>Aspergillus niger</i>	<i>Alternaria alternata</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	<i>Fusarium solani</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>
1.	<i>Oscillatoria planctonica</i>	21	20	22	20	0
2.	<i>Chlorella vulgaris</i>	20	21	23	24	0
3.	<i>Nostoc verrucosum</i>	0	22	0	21	0
4.	<i>Oscillatoria brevis</i>	40	20	0	0	0
5.	<i>Oscillatoria acutissima</i>	22	24	24	20	30
6.	<i>Spirulina major</i>	0	25	22	21	0
7.	<i>Anabaena variabilis</i>	0	20	21	22	0
8.	<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	0	22	0	0	0

При изучении противогрибковых свойств ключевым элементом стал анализ ферментативной активности штаммов микроводорослей, выделенных из воды озера «Ла Извор».

Ферментативную активность проводили экспресс-методами: амилолитическая активность [11], активность каталазы [10], активность липазы, [12;13] и целлюлазная активность. [14; 15].

В результате опытов по ферментативным свойствам (таблица 2) можно отметить, что цианобактерия *Nostoc verrucosum* обладала высокой ферментативной активностью (+++). *Spirulina major* показала высокую целлюлазную активность (+++), а амилолитическая, каталазная, липазная активность была более низкая (+). В случае *Chlorella vulgaris* были выражены повышенные активности (+++) каталазы, целлюлазы и липазы. *Oscillatoria brevis* проявляли каталазную, целлюлозную и липазную активность (++), а *O. planktonica* - целлюлозную и липазную активность (++). Следует также отметить, что *Anabaena variabilis* проявляла высокую целлюлазную и липазную активность (+++), а *Aphanizomenon flos-aquae* проявляла более низкую ферментативную активность по сравнению с другими исследованными штаммами микроводорослей.

**Ферментативная активность микроводорослей,
выделенных из воды озерной системы «Ла Извор»**

Микроводоросли	амилаза	каталаза	целлюлаза	липаза
<i>Oscillatoria planktonica</i>	+++	0	+++	++
<i>Chlorella vulgaris</i>	+	++	++	++
<i>Nostoc verrucosum</i>	+++	+++	+++	++
<i>Oscillatoria brevis</i>	0	++	++	++
<i>Oscillatoria acutissima</i>	0	0	++	++
<i>Spirulina major</i>	+	+	+++	+
<i>Anabaena variabilis</i>	0	+++	+++	0
<i>Aphanizomenon flos aquae</i>	0	+	+	0

Таким образом, в результате проведенных экспериментов можно сказать, что штаммы микроводорослей, выделенные из озерной воды, проявляли выраженную противогрибковую активность в отношении патогенных штаммов, а такие штаммы, как: *Chlorella vulgaris*, *Oscillatoria planktonica*, *Oscillatoria acutissima* и *Spirulina major*, проявляли более значительные зоны ингибирования. Эти штаммы микроводорослей также показали хорошие результаты ферментативной активности (амилазы, целлюлазы, липазы и каталазы), среди которых можно отметить *Nostoc verrucosum*, *Oscillatoria planktonica*, *Spirulina major*, *Oscillatoria brevis*.

Исследование финансировалось в рамках проекта 20.80009.7007.09 (ANCD).

Библиографический список

1. Evaluation of several microalgal extracts as bioactive metabolites as potential pharmaceutical compounds/ C. Gürlek, C. Yarkent, A. Köse, I. Oral, S. Öncel, M. Elibol // In CMБEBИH. 2019; Springer Nature: Cham, Switzerland, 2019. P. 267–272.
2. Bhattacharjee M. Pharmaceutically valuable bioactive compounds of algae // Asian J. Pharm. Clin. Res. 2016. Vol. 7. P. 43–47.
3. Enzymes for pharmaceutical and therapeutic applications / G. K. Meghwanshi, N. Kaur, S. Verma, N. Kumar Dabi, A. Vashishtha, P. D. Charan, P. Purohit, H. S. Bhandari, N. Bhojak, R. Kumar // Published online 8 May 2020 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com), 2020. P. 586–601.
4. Microalgal Enzymes with Biotechnological Applications / P. De Luca, A. Ianora, A. D. W. Dobson, C. Lauritano // Mar. Drugs 2019. Vol. 17, No. 459. P. 2–20.
5. Mathimani T., Pugazhendhi A., Utilization of algae for biofuel, bio-products and bio-remediation // Biocatal. Agric. Biotechnol. 2019. Vol. 17. P. 326–330.
6. Potential of microalgae in the bioremediation of water with chloride content./ M. E. Ramírez, Y. H. Vélez, L. Rendón and E. Alzate // Braz. J. Biol. 2018. Vol. 78, No. 3. P. 472–476.
7. Chlorellin, an Antibacterial Substance from *Chlorella* / P. Daniels, T. C. John, J., Eiler, J. B., Gunnison et al, Science 28 1944. Vol. 99. Iss. 2574. P. 351–352.
8. Free fatty acids and sterols in the benthic spawn of aquatic molluscs, and their associated antimicrobial properties / K. D. Benkendorff, A. Rogers, C. Bremner JB // J Exp Mar Biol Ecol. 2005. Vol. 316. P. 29–44.

9. Ghasemi Y., Rasoul-Amini S., Fotooh-Abadi E. The biotransformation, biodegradation, and bioremediation of organic compounds by microalgae // Journal of Phycology. 2011. Vol. 47. Is. 5. P. 969–980.

10. Грицкевич Е. Р., Бученков И. Э., Иконникова Н. В. Лабораторный практикум по микробиологии : пособие. 2017.

11. Zholdas E. A., Aitkulova R. E. Studiul activității amilolitice, proteolitice și hidrolitice a unei tulpini izolate din bacterii din genul *Bacillus subtilis* în timpul cultivării profunde / Științe biologice : materiale ale celei de-a VIII-a Conferințe Științifice Internaționale Studentești «Forum Științific Studentesc». 2016. Disponibil <https://scienceforum.ru/2016/article/2016028300>

12. Production of lipase from genetically improved *Streptomyces exfoliates* LP10 isolated from oil-contaminated soil / M. M. Aly., S. Tork, S. H Al-Garni., L Nawar // Afr. J. Microbiol. Res. 2012. Vol. 6(6). P. 1125–1137.

13. Никитин В. М. Справочник методов биохимической экспресс-индикации микробов, Кишинев : Картя молдовеняскэ, 1986. 294 с.

14. Активность целлюлолитического комплекса индуцированных мутантов *Bacillus subtilis*/ Д. В. Маслак, И. Н. Феклистова, И. А. Гринева, Т. Л. Скакун, Л. Е. Садовская, Н. П. Максимова // Труды БГУ. 2015. Т. 10. Ч. 1 Микробиология. С. 82–89.

15. Характеристика микроорганизмов, выделенных из «зеленого снега» прибрежной зоны Восточной Антарктиды / В. Е. Мямин, А. В. Сидоренко, Л. Н. Валентович, Ю. Г. Гигиняк, Г. И. Новик, Э. И. Коломиец // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты : Сб. науч. трудов. Минск : Беларуская навука, 2016. Т. 8. С. 106–125.

АКТИНОБИОТА РИЗОСФЕРЫ ЛЕВЗЕИ САФЛОРОВИДНОЙ

И. Г. Широких^{1,2}, М. Э. Патракова³, Я. И. Назарова², А. В. Бакулина²

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

² Федеральный аграрный научный центр

Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, irgenal@mail.ru

³ Вятский государственный университет

Определена структура комплекса актиномицетов, ассоциированных с корнями лекарственного растения – левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides*) на дерново-подзолистой почве. Из ризосферы левзеи выделена 21 культура стрептомицетов. Изучены их культурально-морфологические и физиолого-биохимические свойства, проведена ПЦР-детекция генов поликетидсинтетаз типа II. Определена доля штаммов, продуцирующих индольные соединения и биоцидные метаболиты.

Ключевые слова: актиномицеты, *Rhaponticum carthamoides*, *Streptomyces*, источники углерода, спектр утилизации, PKS II, антибиотическая активность, ауксины.

Актиномицеты представляют собой обширную группу аэробных, грамположительных, склонных к формированию мицелия бактерий с высоким содержанием в геномной ДНК гуанина и цитозина (G+C ≥55%) [1]. Ризосферные и эндофитные актиномицеты – потенциальный источник для производства различных вторичных метаболитов, обладающих способностью усили-

вать устойчивость растений к биотическим и абиотическим стрессам [2, 3]. В работах последних десятилетий было показано, что значительным потенциалом в качестве продуцентов новых биоактивных соединений, которые имеют большие перспективы в сельском хозяйстве, а также в фармацевтической промышленности, обладают микробные сообщества, ассоциированные с лекарственными растениями [4]. Актиномицеты, как и другие микроорганизмы-ассоцианты, могут активно модулировать пути биосинтеза и системы экспрессии генов хозяина, что приводит к увеличению биосинтеза вторичных метаболитов. В процессе длительной совместной эволюции растений и микроорганизмов, очевидно, происходил горизонтальный перенос генов, что обусловило формирование совмещенных биосинтетических путей, а совокупность продуктов метаболизма стала отражением установившегося равновесия между ассоциантами [5]. Таким образом, наиболее перспективными, в связи с поиском новых микробных источников биоактивных соединений, представляются актиномицеты, выделенные из ассоциаций с лекарственными растениями.

Левзея сафлоровидная (*Rhaponticum carthamoides*) – многолетнее лекарственное растение семейства астровых. Из корней и корневищ левзеи выделен экдистен – соединение стероидной природы, которое оказывает тонизирующие и адаптогенное действие. Препараты левзеи сафлоровидной входят в Государственную Фармакопею РФ [6].

Цель исследования – характеристика комплекса ризосферных актиномицетов левзеи сафлоровидной, при ее длительном возделывании на дерново-подзолистой почве.

Численность и таксономическую структуру комплекса актиномицетов в ризосфере и ризоплане растений изучали с использованием ранее описанных подходов и приемов [7]. Для характеристики функциональной структуры комплекса у изолятов рода *Streptomyces* определяли спектр утилизации различных источников углерода, антибиотическую активность и способность продуцировать индолы [8].

Общая численность актиномицетов в ризосфере левзеи сафлоровидной изменялась в пределах сотен тысяч колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 г почвы, а в ризоплане составила десятки тысяч КОЕ/г корней. Комплекс мицелиальных прокариот представлен родами *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Streptosporangium*, *Streptoverticillium* и олигоспоровыми формами. Стрептомицеты доминировали как в ризосфере, так и в ризоплане растений, и были выделены в чистые культуры для дальнейшего изучения. Исследование культуральных и морфологических свойств 21 изолята показало, что в ризоплане наблюдается большее разнообразие стрептомицетов, чем в ризосферной почве. Так, все штаммы стрептомицетов, выделенные из прикорневой почвы, были представителями трех цветовых серий одной секции *Cinereus*, тогда как изоляты из корней распределились между пятью сериями трех секций (*Cinereus*, *Albus* и *Helvolo-Flavus*) рода *Streptomyces* [9].

Проведенный с помощью двойной репортерной системы [10] высокопроизводительный скрининг, выявил среди 19 изолятов, ассоциированных с корнями левзеи, способность продуцировать ингибиторы синтеза белка у четырех (21%) культур. Наибольшую антибиотическую активность проявил штамм *Streptomyces* sp. 41S13, отнесенный к серии Helvolo-Flavus Helvolus, виды которой продуцируют антибиотики преимущественно пептидной природы [9]. Определение антибиотической активности методом диффузии в агар в выборке из 21 штамма выявило по три культуры, ингибирующие рост грамположительных тест-бактерий *Bacillus aryabhatai* и *Clavibacter michiganensis*. К грамотрицательным тест-бактериям *Curtobacterium flaccumfaciens*, *Erwinia rhapontici*, *Pseudomonas cepacea* и *Pedobacter agri* ни один из исследованных штаммов антагонизма не проявил.

Биосинтетический потенциал ассоциированных с корнями левзеи сафлоровидной стрептомицетов оценивали с помощью ПЦР-детекции генов поликетидсинтетаз типа II (PKS II), участвующих в биосинтезе вторичных метаболитов, включая антибиотики. Для выявления генов, кодирующих PKS II, использовали пару праймеров: f GC(C\G)TGCTTCGA(C\T)GC(C\G)ATC, r CAT(C\G)GA(C\T)TTGAT(G\C)GAGCTGA (длина ампликона 414 п.н.), синтезированные компанией «Синтол» (Россия). Реакцию проводили на программируемом термоциклере «Терцик» («НПО ДНК-Технология», Россия). Реакционная смесь (25 мкл) содержала 1 нг ДНК, 0,1 mM dNTPs, 0,2 мкМ каждого праймера, 1×PCR-буфер и 1 ед. Taq-полимеразы (СибЭнзим, Россия). ПЦР проводили в следующем режиме: 1 цикл 94 °C – 5 мин; 30 циклов – 94 °C – 1 мин, 56 °C – 1 мин, 72 °C – 1 мин; конечная элонгация 72 °C – 5 мин. Продукты амплификации разделяли электрофорезом в 1%-ном агарозном геле. Для определения длины полученных ампликонов использовали маркер DNA Ladder (СибЭнзим, Россия). Визуализацию результатов электрофореза проводили с помощью трансиллюминатора «Квант-312» («Helicon», Россия).

Целевых ампликонов, длиной 414 п.н., в результате ПЦР со специфичными к генам PKS II праймерами, не выявлено. Однако у штаммов *Streptomyces* sp. 41S5, *Streptomyces* sp. 21S9 (рис. 1А); *Streptomyces* sp. 21S13, *Streptomyces* sp. 41S7, *Streptomyces* sp. 41S10; *Streptomyces* sp. 41S3 (рис. 1Б); *Streptomyces* sp. 21S1 (рис. 1В) наблюдали наличие неспецифических продуктов реакции, что требует их дальнейшего изучения.

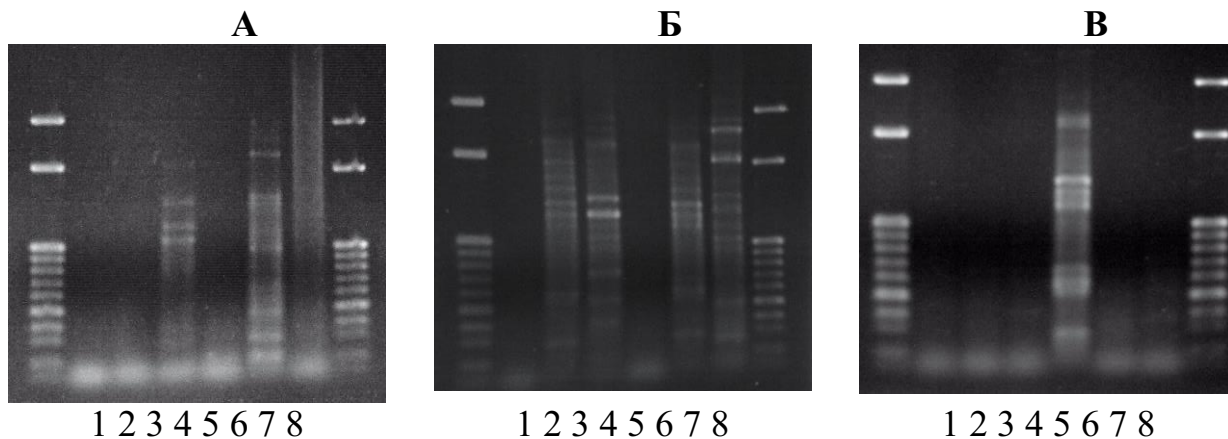


Рис. 1. Электрофореграммы образцов ДНК стрептомицетов после амплификации с праймерами к генам PKS II: Дорожки № 1, 8 – маркеры молекулярной массы, 2 – отрицательный контроль; далее образцы **А** (3 – *Streptomyces* sp. 21S4, 4 – *Streptomyces* sp. 41S5, 5 – *Streptomyces* sp. 21S11, 6 – *Streptomyces* sp. 21S9, 7 – *Streptomyces* sp. 41S6); **Б** (3 – *Streptomyces* sp. 21S13, 4 – *Streptomyces* sp. 41S7, 5 – *Streptomyces* sp. 41S2, 6 – *Streptomyces* sp. 41S10, 7 – *Streptomyces* sp. 41S3); **В** (3 – *Streptomyces* sp. 41S12, 4 – *Streptomyces* sp. 41S8, 5 – *Streptomyces* sp. 21S1, 6 – *Streptomyces* sp. 21S7, 7 – *Streptomyces* sp. 41S21)

В целом, отсутствие изолятов, имеющих гены PKS II, не противоречит обнаружению изолятов с биоцидными свойствами, поскольку синтез антибиотиков может быть связан с другими генетическими системами: PKS типа I и/или нерибосомальными пептидсинтетазами (NRPS). Кроме того, ряд авторов считает, что нет прямой корреляции между противомикробной активностью и обнаружением функциональных генов [11, 12].

Проверка способности изолятов к утилизации различных источников углерода показала, что ассоциированные с корнями левзеи сафлоровидной стрептомицеты могут усваивать широкий спектр сахаров, целлюлозу и маннит (рис. 2). Частота встречаемости культур, способных утилизировать целлюлозу, самая низкая в исследуемой выборке – 42,8%. Глюкозу и арабинозу усваивали все изоляты – 100%. Культуры, утилизирующие ксилозу, лактозу, рамнозу и маннит, встречались с равно высокой частотой – 95,2%.

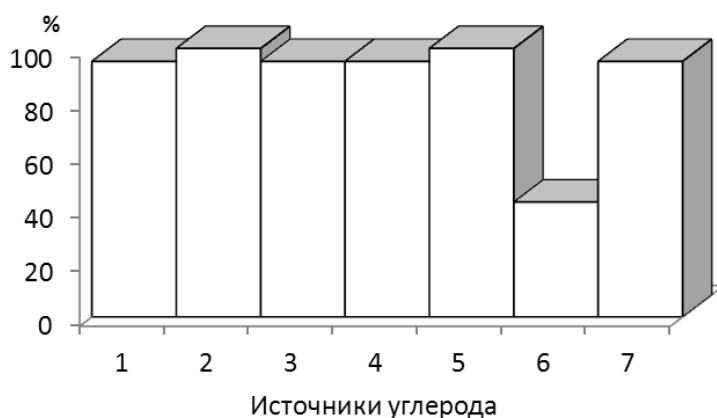


Рис. 2. Частота встречаемости среди штаммов-ассоциантов левзеи сафлоровидной культур, утилизирующих различные источники углерода: 1 – ксилозу, 2 – арабинозу, 3 – рамнозу, 4 – манит, 5 – глюкозу, 6 – целлюлозу, 7 – лактозу

При культивировании в среде с добавлением 2 г/л триптофана практически все исследуемые ризосферные изоляты продуцировали индолил-3-уксусную кислоту (ИУК) – наиболее распространенный фитогормон, широко применяющийся для стимуляции роста сельскохозяйственных растений. Высоким накоплением ИУК (48,0–83,6 мкл/мл) в среде отличались 19% штаммов, способность к биосинтезу ауксинов у остальных изолятов стрептомицетов характеризовалась как умеренная и низкая (рис. 3).

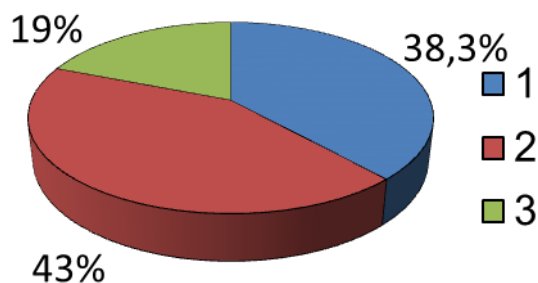


Рис. 3. Долевое соотношение штаммов-ассоциантов левзеи сафлоровидной с различной способностью к продукции ауксинов: 1 – низкой (до 20 мкг/мл); 2 – умеренной (от 21 до 45 мкл/мл), 3 – высокой (более 45 мкл/мл)

Таким образом, ризосферный комплекс стрептомицетов левзеи сафлоровидной представляет собой ценный ресурс для получения и использования в растениеводстве биоактивных природных веществ: ауксинов и, в меньшей степени, биоцидных соединений, ингибирующих синтез белка, преимущественно, у грамположительных бактерий. Широкий спектр утилизации источников углерода ассоциированных с левзеей стрептомицетов открывает хорошую перспективу для их биотехнологического использования.

Авторы выражают благодарность доктору химических наук И. А. Остерману (НИИ Физико-химической биологии имени А. Н. Белозерско-

го МГУ) за проведение высокопроизводительного скрининга культур, продуцирующих антибиотики.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги».

Библиографический список

1. Gao B., Gupta R. S. Phylogenetic framework and molecular signatures for the main clades of the phylum Actinobacteria // *Microbiol Mol Biol Rev.* 2012. Vol. 76. No. 1. P. 66–112. doi: 10.1128/MMBR.05011-11
2. Insights into the functionality of endophytic actinobacteria with a focus on their biosynthetic potential and secondary metabolites production/ A. K. Passari, V. K. Mishra., G. Singh, P. Singh, B. Kumar, V. K. Gupta., B. P. Singh // *Scientific Reports.* 2017. Vol. 7(1). P. 1–17. doi: 10.1038/s41598-017-12235-4
3. Venugopalan A., Srivastava S. Endophytes as in vitro production platforms of high value plant secondary metabolites // *Biotechnology advances.* 2015. Vol. 33. No. 6. P. 873–887. doi: 10.1016/j.biotechadv.2015.07.004
4. Nalini M. S., Prakash H. S. Diversity and bioprospecting of actinomycete endophytes from the medicinal plants // *Letters in applied microbiology.* 2017. Vol. 64. No. 4. C. 261–270. doi: 10.1111/lam.12718
5. Rare actinomycetes *Nocardia caishijiensis* and *Pseudonocardia carboxydivorans* as endophytes, their bioactivity and metabolites evaluation/ R. Tanvir, I. Sajid, S. Hasnain, A. Kulik, S. Grond // *Microbiological research.* 2016. Vol. 185. P. 22–35. doi: 10.1016/j.micres.2016.01.003
6. Большой энциклопедический словарь лекарственных растений / под ред. Г. П. Яковлева. СПб. : СпецЛит, 2015. 759 с.
7. Изменение структуры комплексов актиномицетов в ризосфере трансгенных по гену Fe-СОД 1 линий томата (*Solanum lycopersicum* L., SOLANACEAE, SOLANALES) / И. Г. Широких, Я. И. Назарова, С. Ю. Огородникова, Е. Н. Баранова // *Поволжский экологический журнал.* 2016. № 3. С. 341–351.
8. Libbert E., Risch H. Interactions between plants and epiphytic bacteria regarding their auxin metabolism // *Physiologia Plantarum.* 1969. Vol. 22. P. 51–58.
9. Определитель актиномицетов. Роды *Sreptomycetes*, *Streptoverticillium*, *Chainia* / Г. Ф. Гаузе, Т. П. Преображенская, М. А. Свешникова, Л. П. Терехова, Т. С. Максимова М. : Наука, 1983. 248 с.
10. Sorting Out Antibiotics' Mechanisms of Action: a Double Fluorescent Protein Reporter for High-Throughput Screening of Ribosome and DNA Biosynthesis Inhibitors/ I. A. Osterman, E. S. Komarova, D. I. Shiryaev, I. A. Korniltsev, I. M. Khven, D. A. Lukyanov, V. N. Tashlitsky, M. V. Serebryakova, O. V. Efremenkova, Y. A. Ivanenkov, A. A. Bogdanov, P. V. Sergiev, O. A. Dontsova // *Antimicrob Agents Chemother.* 2016. Vol. 60. No. 12. P. 7481–7489. doi: 10.1128/AAC.02117-16.
11. Isolation, Diversity and antimicrobial activity of rare actinobacteria from medicinal plants of tropical rain forests in Xishuangbanna, China / S. Qin, J Li., H. H Chen., G. Z. Zhao, W. Y. Zhu // *Appl. Environ. Microbiol.* 2009. Vol. 75. P. 6176–6186. doi: 10.1128/AEM.01034-09
12. Isolation, abundance and phylogenetic affiliation of endophytic actinobacteria associated with medicinal plants and screening for their *in vitro* antimicrobial biosynthetic potential / A. K. Passari, V. K. Mishra, R. Saikia, V. K. Gupta., B. P. Singh // *Front. Microbiol.* 2015. Vol. 6. P. 273. doi: 10.3389/fmicb.2015.00273

РЕАКЦИЯ МИКРОМИЦЕТОВ НА ИНТРОДУКЦИЮ В ПОЧВУ АКТИНОБАКТЕРИЙ В ПРИСУТСТВИИ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО СУБСТРАТА

Л. И. Домрачева^{1,2}, Ю. С. Забубенина¹, С. Ю. Огородникова²,
Я. И. Назарова³, И. Г. Широких^{2,3}

¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
dli-alga@mail.ru

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

³ Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
им. Н. В. Рудницкого

В данной работе представлены результаты лабораторного опыта по влиянию на интенсивность развития почвенных микромицетов внесения в почву целлюлозы (в виде льняного полотна) с одновременной интродукцией актинобактерий рода *Streptomyces*. Показано, что дополнительное внесение питательного вещества в виде целлюлозы стимулирует размножение грибов. В присутствии интродуцированных в почву стрептомицетов происходит изменение структуры микопопуляций за счет преобладания меланизированных форм микромицетов.

Ключевые слова: микромицеты, стрептомицеты, целлюлоза, микокомплексы.

Развитие микроорганизмов в почве всегда связано с наличием тех питательных веществ, которые требуются каждой конкретной физиологической группе. Среди микробов-целлюлозолитиков лидирующее положение занимают мицелиальные формы – микромицеты и актинобактерии рода *Streptomyces*, обладающие очень мощным ферментативным аппаратом, позволяющим вести гидролиз даже самых сложных полимеров. Эти группы микроорганизмов выполняют в природе во многом сходные экологические функции [1]. Однако в сложный процесс конвейерной переработки биополимеров, мицелиальные прокариоты, в отличие от грибов, вступают на относительно поздних стадиях сукцессии, когда создаются условия для использования медленно разлагаемых субстратов, при исчерпании легкодоступных источников питания [2].

Цель данной работы – определить количественные характеристики почвенных микромицетов при внесении целлюлозы в виде льняного полотна с одновременной интродукцией в почву трех разных видов стрептомицетов.

В опыте использованы образцы почвы с урбанизированной территории, отобранные в районе учебного корпуса ВятГУ (микрорайон Чижы г. Кирова) на удалении от дороги с глубины 0–20 см. Почву просушивали, растирали и просеивали через сито с диаметром ячеек 1 мм. Почву помещали в контейнеры, увлажняли до 60% от полной влагоемкости и закладывали образцы льня-

ного полотна площадью 10x10 см. В опытных вариантах льняное полотно смачивали жидкими культурами стрептомицетов, в контрольном варианте льняное полотно смачивали дистиллированной водой. Титр культур интродуцентов составлял – *Streptomyces anulatus* Т-2-2 – 10^7 КОЕ/мл, *S. felleus* 2m-4 – 10^9 КОЕ/мл, *S. noboritoensis* 1т-14 – 10^7 КОЕ/мл.

Варианты опыта: 1. Контроль (льняное полотно). 2. Льняное полотно + стрептомицет А1. 3. Льняное полотно + А2. 4. Льняное полотно + А3. 5. Льняное полотно + А1 + А2 + А3, где А1 – *Streptomyces anulatus* Т-2-2 – 10^7 КОЕ/мл; А2 – *S. felleus* 2m-4 – 10^9 КОЕ/мл; А3 – *S. noboritoensis* 1т-14 – 10^7 КОЕ/мл. Культуры стрептомицетов предоставлены лабораторией биотехнологии растений и микроорганизмов ФАНЦ Северо-Востока и представляют собой природные изоляты из дерново-подзолистой (А1, А2) и бурой лесной (А3) почв.

Повторность опыта трехкратная, начало опыта 5.11.2020, снятие опыта 21.05.21.

Численность пропагул микромицетов определяли методом прямого количественного учета на мазках под микроскопом [3]. Длину мицелия также определяли под микроскопом с помощью окуляр-микрометра, повторность 9-кратная.

Как показывают результаты опыта, интродукция стрептомицетов послужила стимулом для размножения в почве микромицетов. При этом общая численность грибов практически одинакова в каждом из вариантов с внесением стрептомицетов и составляет немногим выше 3 млн пропагул/г (в данном случае за грибные пропагулы мы считали обрывки мицелия), что почти в 2 раза превышает их количество в контрольном варианте (табл. 1).

Таблица 1

Влияние интродукции актинобактерий на численность микромицетов ($\cdot 10^3$ пропагул/г)

Вариант	Мицелий		Всего
	окрашенный	бесцветный	
Контроль	766±150	730±150	1696±300
А1	2767±450	830±50	3597±500
А2	3000±300	830±50	3830±350
А3	2450±590	630±130	3080±720
А1+А2+А3	2575±880	566±50	3141±930

Интродукция в почву мицелиальных прокариот стала, по-видимому, причиной изменения соотношения форм с окрашенным и бесцветным мицелием в структуре грибной популяции (табл. 2).

Если в контрольном варианте было приблизительно одинаковое представительство грибов с бесцветным (54,7%) и окрашенным (45,3%) мицелием, то во всех вариантах с внесением культур стрептомицетов наблюдалось преобладание окрашенного мицелия (от 78 до 82%) над бесцветным (от 18 до 21,7%). Данное соотношение сместилось в пользу окрашенного мицелия осо-

бенно сильно в варианте с интродукцией в почву трех видов стрептомицетов одновременно.

Таблица 2

Структура популяций микромицетов (%)

Вариант	Мицелий	
	окрашенный	бесцветный
Контроль	45,3	54,7
A1	78,3	21,7
A2	79,5	20,5
A3	79,5	20,5
A1+A2+A3	82,0	18,0

Определение длины мицелия и структуры популяций микромицетов по длине мицелия выявило ту же тенденцию, что и при определении численности грибных пропагул. Внесение в почву культур актинобактерий привело к увеличению длины грибного мицелия во всех опытных вариантах, особенно явно выраженному в варианте с внесением штамма актинобактерий A2. Точно так же произошло смещение доминирования меланизированных форм грибов во всех опытных вариантах (табл. 3–4).

Таблица 3

Влияние интродукции актинобактерий на длину мицелия микромицетов (м/г)

Вариант	Мицелий		Всего
	окрашенный	бесцветный	
Контроль	14,3±1,2	33,9±4,5	48,2±5,7
A1	50,9±2,6	3,8±0,2	54,7±2,8
A2	76,5±11,2	35,2±1,2	111,7±12,4
A3	62,4±11,7	25,0±1,3	87,4±13,0
A1+A2+A3	51,2±1,0	22,4±3,2	73,6±4,2

Таблица 4

Структура популяций микромицетов по длине мицелия (%)

Вариант	Мицелий	
	окрашенный	бесцветный
Контроль	29,7	70,3
A1	93,0	7,0
A2	68,5	31,5
A3	62,4	37,6
A1+A2+A3	69,6	30,4

Возможной причиной этому явлению могло быть обогащение почвы биологически активными веществами, синтезируемыми стрептомицетами. Известна способность этих актинобактерий к синтезу большого количества разнообразных вторичных метаболитов: антибиотики, сидерофоры, витамины, ингибиторы ферментов, фитогормоны и т. д. [4, 5]. Согласно экспертным оценкам, среди известных к настоящему времени микроорганизмов-

продуцентов на долю актиномицетов приходится 10100, других бактерий – около 3800, грибов – 8600 различных биоактивных соединений [6]. По-видимому, к стрептомицетным метаболитам оказались чувствительны грибы с неокрашенным мицелием, тогда как виды с окрашенным меланизированным мицелием более устойчивы к ним, вследствие чего и получили количественное преимущество. Как известно, меланизация мицелия является способом противостояния грибов неблагоприятным природным и антропогенным факторам [7]. В то же время сообщалось, что часто выделяемые актиномицеты могут действовать как антагонисты некоторых распространенных подстилочных грибов, в зависимости от кинетики роста последних. Быстрорастущие виды из родов *Mucor*, *Penicillium* и *Trichoderma* более устойчивы к антагонизму с актиномицетами, чем медленно растущие представители родов *Cladosporium* и *Mortierella* [8]. То есть колонизация органических субстратов некоторыми актиномицетами действительно снижает степень последующей колонизации чувствительными грибами, но чувствительность грибов, скорее всего, обусловлена комплексом физиолого-биохимических свойств, определенную роль в котором играет наличие меланиновых пигментов.

Определение средней длины обрывков мицелия показало, что во всех вариантах этот показатель существенно меньше в случае меланизированных микромицетов и колеблется в пределах 13,8–24,9 мкм (табл. 5). При этом минимальная длина регистрируется в контрольном варианте, а максимальная в вариантах с внесением стрептомицетов А2 – *S. felleus* 2м-4 и А3 – *S. noboritoensis* 1т-14. У микромицетов с бесцветным мицелием фрагментация происходит существенно слабее, и длина мицелиальных обрывков во всех вариантах превышает 30 мкм, достигая максимума в вариантах А2 и А3. Следовательно, в случае с определением средней длины мицелиальных обрывков сохраняется для бесцветных и окрашенных форм одна и та же тенденция: более явно выраженная фрагментация меланизированных форм по сравнению с бесцветными и определенное возрастание показателей длины грибных фрагментов в обоих случаях при интродукции в почву стрептомицетов.

Таблица 5

Влияние интродукции стрептомицетов на среднюю длину фрагментов мицелия (мкм)

Длина фрагментов мицелия	Вариант				
	Контроль	А1	А2	А3	А1+А2+А3
Окрашенный	13,8±1,4	19,8±3,2	24,7±3,9	24,9±2,8	18,7±3,6
Бесцветный	32,6±3,6	39,6±4,6	45,3±2,8	42,3±4,7	37,3±4,5

Таким образом, результаты проведенного исследования показывают, что в условиях лабораторного эксперимента микромицеты остро реагируют на внесение в почву мицелиальных актинобактерий – стрептомицетов. Интродукция различных штаммов стрептомицетов по отдельности и одновременно стала, по-видимому, причиной достаточно бурного размножения микроскопических грибов, количество пропагул которых через 6 месяцев экспо-

зиции увеличилось вдвое по сравнению с контролем. В то же время произошло существенное изменение структуры микокомплексов, связанное с резким доминированием меланизированных форм грибов во всех вариантах с интродукцией стрептомицетов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги».

Библиографический список

1. Звягинцев Д. Г., Зенова Г. М. Экология актиномицетов. М. : ГЕОС, 2001. 253 с.
2. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв /Т. Г. Добровольская, Д. Г. Звягинцев, И. Ю. Чернов, А. В. Головченко, Г. М. Зенова, Л. В. Лысак, Н. А. Манучарова, О. Е. Марфенина, Л. М. Полянская, А. Л. Степанов, М. М. Умаров // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087–1087. doi: 10.7868/80032180X15090038
3. Домрачева Л. И. «Цветение» почвы и закономерности его развития : монография Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 2005. 335 с.
4. Strohl W. R. Antimicrobials // Microbial Diversity and Bioprocessing / Ed. by A. T. Bull American Society for Microbiology. Washington DC. 2004. P. 336–355.
5. Tarkka M., Hampp R. Secondary metabolites of soil streptomycetes in biotic interactions // Secondary metabolites in soil ecology. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. P. 107–126.
6. Berdy J. Bioactive microbial metabolites, a personal view // J. Antibiotics. 2005. Vol. 58. P. 1–26. doi: 10.1038/ja.2005.1
7. Гесслер Н. Н., Егорова А. С., Белозерская Т. А. Меланиновые пигменты грибов в экстремальных условиях существования (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2014. Т. 50. № 2. С. 125–125. doi: 10.7868/S0555109914020093
8. Jayasinghe B. A. T. D., Parkinson D. Actinomycetes as antagonists of litter decomposer fungi // Applied soil ecology. 2008. Vol. 38. No. 2. P. 109–118. doi: 10.1016/j.apsoil.2007.09.005

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ НА МИКРОБИОЦЕНОЗ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ЛУГОВОЙ ПОЧВЫ

*Т. В. Кузнецова, А. А. Утомбаева, Л. К. Каримуллин,
Ю. А. Игнатьев, А. М. Петров
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
kuznetsovatatyana@mail.ru*

Изучено влияние выращивания одно- и двудольного растений на микробиоценозы аллювиальной луговой супесчаной и среднесуглинистой почвы, при разном остаточном содержании нефтепродуктов. Определено влияние гранулометрического состава почвы, содержания нефтепродуктов и класса выращиваемых растений на численность отдельных групп микроорганизмов.

Ключевые слова: почвенный микробиоценоз, нефтепродукты, аллювиальная луговая почва, пшеница, горох.

Использование методов биологической рекультивации для восстановления свойств и плодородия, загрязненных нефтью и продуктами ее трансформации почв, повышает актуальность проведения исследовательских работ направленных на интенсификацию процессов деструкции присутствующих в них поллютантов. Эффективность проводимых фиторекультивационных мероприятий в большой мере определяется составом и активностью почвенной микробиоты, ее способностью к изменению своих функций в присутствии разных доз нефтяных углеводов. При этом ответная реакция почвенных микроорганизмов на присутствие поллютанта определяется типом почвы, содержанием нефти и характеристиками почвенных микроорганизмов [1–3].

В состав почвы входят разные эколого-трофические группы микроорганизмов [4, 5], изучение численности которых является инструментом позволяющим объяснить происходящие в загрязненных почвах метаболические процессы. Сопоставление экспериментально полученных данных позволяет прогнозировать способность почв к самоочищению, делать выводы о влиянии поллютантов на почвенные микробные сообщества, предложить более эффективные пути восстановления их свойств и плодородия.

Цель исследований – изучение влияния выращивания высших растений на микробный пул нефтезагрязненной аллювиальной луговой почвы.

Исследования проводились на чистой и нефтезагрязненной условно рекультивированной аллювиальной луговой супесчаной (АЛсп) и среднесуглинистой (АЛсс) почве Республики Татарстан. Горизонт А1.

Остаточное содержание нефтепродуктов (НП) в опытных вариантах (В1, В2, В3 и В4) определенное сопоставлением массы потерь при прокаливании образцов чистых и загрязненных нефтью почв [6] в исследуемых образцах условно рекультивированных почв, составляло: АЛсп – 1,5; 4,9; 6,0 и 11,0 г/кг; АЛсс – 6,3; 9,1; 11,3 и 14,8 г/кг, определенное ИК-спектрометрическим методом [7] в АЛсп – 1,8; 3,1; 4,2 и 6,5 г/кг, в АЛсс – 1,9; 3,1; 4,3 и 6,0 г/кг. Контролем служила чистая почва.

В хронических вегетационных экспериментах были использованы однодольное растение - пшеница яровая (*Triticum vulgare* L.) и двудольное – горох посевной (*Pisum sativum* L.). Эксперименты проводили в лабораторных условиях при температуре 21–26 °С и влажности почвы на уровне 60% от полной влагоемкости [8]. Освещение растений осуществляли 16 часов в сутки, лампами с интенсивностью – 4000 Лк. В качестве вегетационных сосудов использовались пластиковые емкости диаметром 11 см, объемом 550 мл, содержащие по 400 г почвы. Через 42 дня инкубации растения удалялись и изучался микробный пул чистых и загрязненных нефтью почвенных образцов. Определяли общую численность микроорганизмов (ОМЧ), численность углеводородокисляющих (УОМ), актиномицетов (АМ) и микромицетов (ММ), бактерий усваивающих минеральный азот (БУМА), целлюлозоразрушающих (ЦРМ) микроорганизмов, нитрификаторов (НФ) и азотфиксаторов в чистой почве и при различных уровнях загрязнения почв НП [9–11]. Численность исследуемых групп выражали в КОЕ/г абсолютно-сухой почвы.

Проведенный микробиологический анализ показал, что если при выращивании пшеницы в контрольных образцах среднесуглинистой почвы, численность практически всех групп микроорганизмов была выше, чем в супесчаной, то при выращивании гороха, наоборот, численность микроорганизмов (за исключением нитрификаторов и азотфиксаторов) в супесчаной почве была выше, чем в среднесуглинистой (табл.).

Таблица

Состав микробных сообществ чистых образцов аллювиальной луговой почвы после выращивания растений (КОЕ/г)

Группа микроорганизмов	Пшеница			Горох		
	АЛсс	АЛсп	АЛсс/АЛсп	АЛсс	АЛсп	АЛсс/АЛсп
ОМЧ *10 ⁷	1,0	0,8	1,3	2,2	3,8	0,6
УОМ *10 ⁶	2,7	0,6	4,5	1,7	2,3	0,7
Актиномицеты *10 ⁵	27,0	8,3	3,3	42,2	125,7	0,3
Микромицеты *10 ⁴	6,0	1,1	5,5	0,3	2,2	0,1
БУМА*10 ⁶	3,0	4,5	0,7	18,6	30,2	0,6
Целлюлозоразрушающие *10 ⁴	54,0	1,8	30,0	51,1	83,0	0,6
Нитрификаторы*10 ²	29,3	0,1	293,0	27,8	0,3	92,7
Азотфиксаторы, %	0	0	—	4	0	—

После культивирования пшеницы на нефтезагрязненной среднесуглинистой почве во всех опытных образцах ОМЧ, содержание УОМ, АМ, БУМА было выше, чем в чистой почве (рис. 1). Численность остальных групп микроорганизмов была на уровне или ниже численности в контроле.

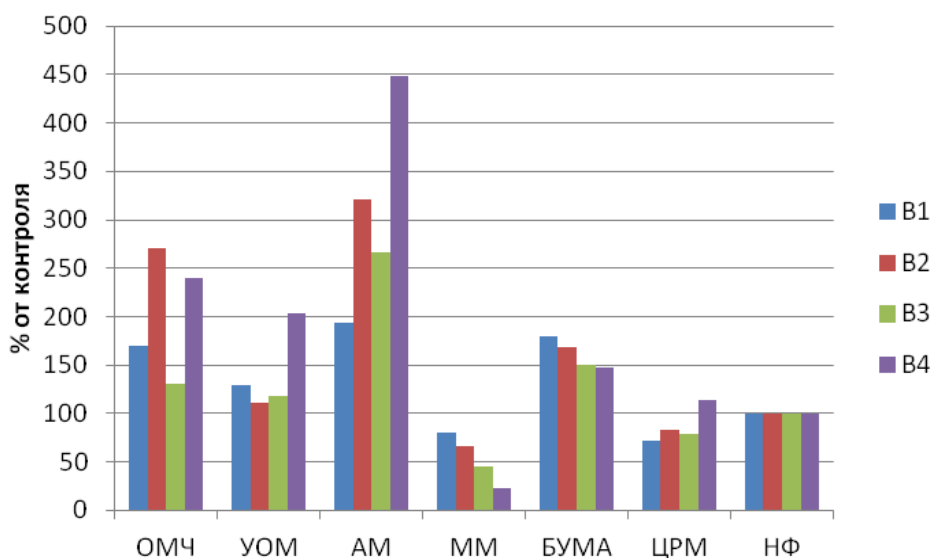


Рис. 1. Численность микроорганизмов в нефтезагрязненных образцах аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы после выращивания пшеницы

В опытных вариантах среднесуглинистой почвы после выращивания гороха ингибирующее действие поллютанта на микробный пул приводило к снижению содержания УОМ, ММ, азотфиксаторов. Численность ЦРМ, НФ в большинстве опытных образцов после гороха была выше, чем в нефтезагрязненных образцах после пшеницы (рис. 2).

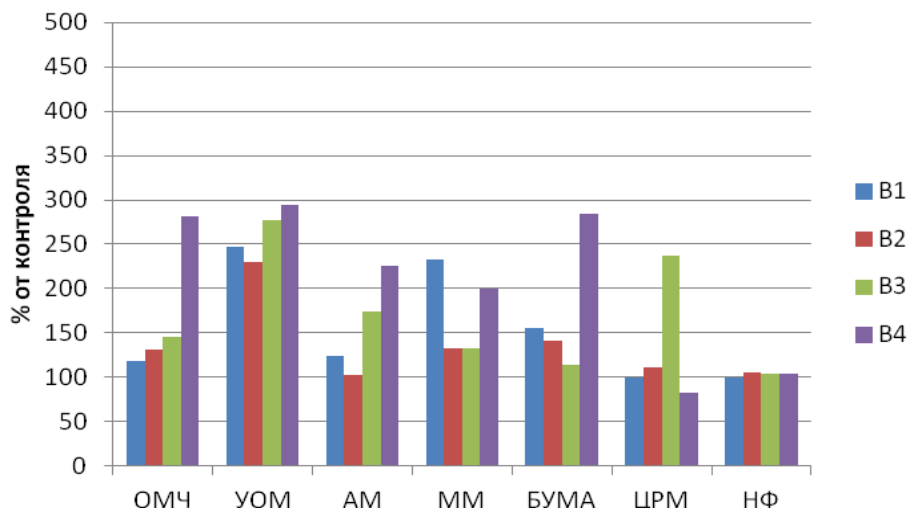


Рис. 2. Численность микроорганизмов в нефтезагрязненных образцах аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы после выращивания гороха

Микробные сообщества после выращивания растений на загрязненной супесчаной почве характеризовались более низким, чем в контроле содержанием УОМ, АМ и ОМЧ (рис. 3, 4). В загрязненных почвенных образцах после гороха зарегистрировано снижение численности БУМА и ЦРМ, при увеличении количества нитрификаторов в вариантах с высоким содержанием нефтепродуктов. В образцах после выращивания пшеницы по мере увеличения дозы поллютанта наблюдалось снижение численности ММ, содержание которых даже в варианте с самой высокой концентрацией было выше, чем в контроле.

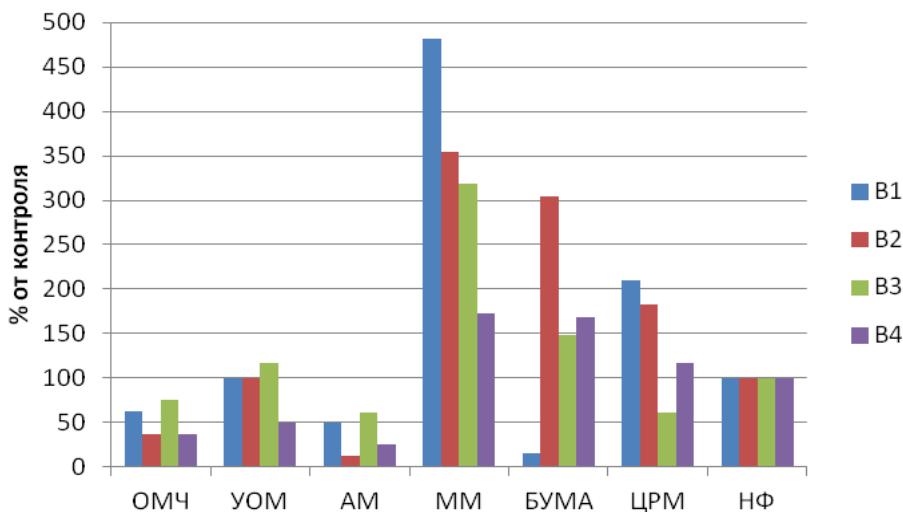


Рис. 3. Численность микроорганизмов в нефтезагрязненных образцах аллювиальной луговой супесчаной почвы после выращивания пшеницы

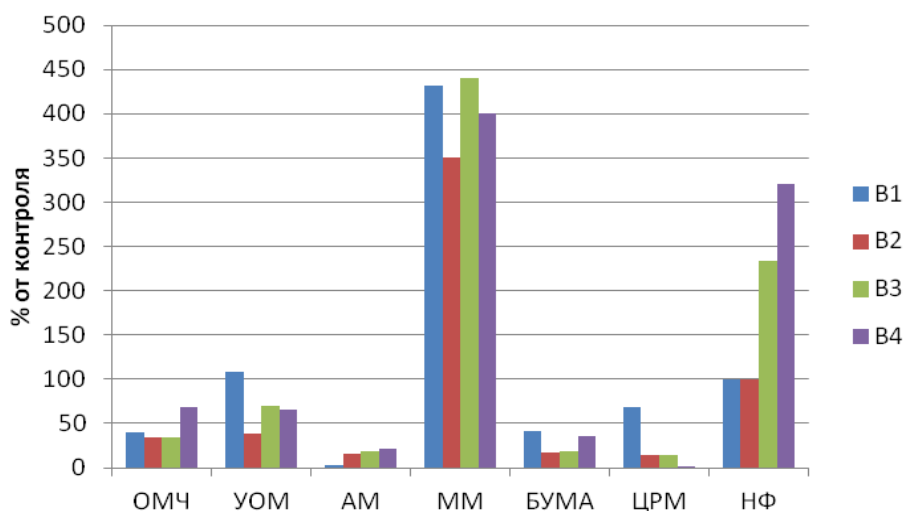


Рис. 4. Численность микроорганизмов в нефтезагрязненных образцах аллювиальной луговой супесчаной почвы после выращивания гороха

Увеличение численности НФ в вариантах В3 и В4, вероятно, определяется активным развитием ризосферной микрофлоры при отсутствии токсичного действия поллютанта.

После вегетационных экспериментов на горохе и пшенице азотфиксаторы (4–6%) были обнаружены только в образцах среднесуглинистой аллювиальной луговой почвы.

Проведенные исследования не выявили корреляционных зависимостей между содержанием нефтяных загрязнений использованными для фиторемедиации растениями и численностью почвенных микроорганизмов.

В нефтезагрязненных образцах супесчаной почвы в ходе хронического эксперимента наблюдалось снижение общей численности сапрофитных микроорганизмов (ОМЧ), УОМ и АМ, а в случае выращивания гороха еще и БУМА, и ЦРМ, тогда как в опытных образцах среднесуглинистой почвы их численность была выше или на уровне контроля.

Культивируемые растения мало влияли на состав почвенной микробиоты. После выращивания гороха в среднесуглинистой почве зарегистрировано более высокое содержание УОМ, а в супесчаной нитрификаторов в вариантах с высокими дозами поллютанта.

Библиографический список

1. Исмаилов Н. М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязненных почв // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М. : Наука, 1988. С. 42–56.
2. Состав микробных сообществ при разном содержании нефтепродуктов в серых лесных почвах / Т. В. Кузнецова, А. М. Петров, И. В. Князев, Р. Э. Хабибуллин // Вестник технологического ун-та. 2016. Т. 19. № 14. С. 165–168.
3. Влияние остаточного содержания нефтепродуктов на состав и активность почвенного микробного сообщества / А. М. Петров, Л. К. Каримуллин, Т. В. Кузнецова, А. А. Вершинин, Р. Э. Хабибуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 23. С. 356–359.

4. Киреева Н. А. Микробиологическая оценка почвы, загрязненной нефтяными углеводородами // Башкирский химический журнал. 1995. Т. 2. № 3–4. С. 65–68.
5. Дегтярева И. А., Хидиятуллина А. Я. Оценка влияния природных ассоциаций углеводородоксилирующих микроорганизмов на состояние нефтезагрязненной почвы // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2011. Т. 153. № 3. С. 137–143.
6. Игнатьев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Применение метода прокаливания для определения содержания аллохтонных углеводов нефти в серых лесных почвах // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 3. С. 34–37.
7. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии.
8. ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений».
9. Егоров Н. С. Практикум по микробиологии. М. : Изд-во Московского университета, 1976. 307 с.
10. Состав микробных сообществ при различном содержании нефтепродуктов в серых лесных почвах / Т. В. Кузнецова, А. М. Петров, И. В. Князев, Р. Э. Хабибуллин // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 14. С. 165–168.
11. Биологическая активность и состав микробного пула серой лесной почвы в условиях длительного воздействия нефтяного загрязнения / А. М. Петров, Л. К. Каримуллин, А. А. Вершинин, Т. В. Кузнецова // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 2. С. 26–30.

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЧИСЛЕННОСТЬ АГРОНОМИЧЕСКИ ПОЛЕЗНЫХ ГРУПП МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОБНЫХ БИОПРЕПАРАТОВ

*Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев, И. И. Концева, А. В. Бондарева
Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины,
dajneko@gsu.by*

В статье приводятся результаты сравнительного анализа численности агрономически полезных групп микроорганизмов при использовании микробных биопрепаратов «Полибакт» и «Жыцень» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и минерализованном торфянике. В среднем за три года наблюдений (2019–2021 гг.) численность изучаемых бактерий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в зависимости от варианта опыта в 1,8–4,0 раза оказалась выше, чем на минерализованном торфянике.

Ключевые слова: микроорганизмы, микробные биопрепараты, «Полибакт», «Жыцень», агрономически полезные группы.

Одним из основных требований к инновационным системам земледелия является производство возможно большего количества растительных остатков для альтернативного использования и возврата излишков в почвы [1]. В настоящее время решение проблемы возврата в почву вынесенных с урожая

ем элементов минерального питания и отчужденных органических веществ имеет особую актуальность. Если примерно 20 лет назад она в какой-то степени решалась за счет внесения необходимого количества минеральных удобрений и использования подстилочного навоза, то к 2012 г. количество используемых на полях минеральных удобрений сократилось более чем в пять раз, а количество вносимых органических удобрений снизилось в семь раз [2].

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что при правильном использовании действие недостающих традиционных форм удобрений может быть дополнено растительными остатками нетоварной части урожая, в частности, соломой зерновых культур [3–5].

Исследования выполняли в 2019–2021 гг. на землях агрокомбината «Южный» вблизи н.п. Поколюбичи Гомельского района Гомельской области. Объектом исследований являлась биологическая активность агрономически полезных групп при обработке микробными биопрепаратами «Жыцень» и «Полибакт» пожнивных остатков соломы.

Опыт I был заложен на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве:

1) контроль – без обработки пожнивных остатков соломы микробными биопрепаратами «Жыцень» и «Полибакт»;

2) обработка пожнивных остатков соломы микробным биопрепаратом «Жыцень»;

3) обработка пожнивных остатков соломы микробным биопрепаратом «Полибакт».

Опыт II был заложен на минерализованном торфянике:

1) контроль – без обработки пожнивных остатков соломы микробными биопрепаратами «Жыцень» и «Полибакт»;

2) обработка пожнивных остатков соломы микробным биопрепаратом «Жыцень»;

3) обработка пожнивных остатков соломы микробным биопрепаратом «Полибакт».

Площадь опытных делянок составляла 5 м², размещение рендомизировано: повторность опытов – 4-х кратная. Растительные остатки соломы и кукурузы измельчали на фракции 30–50 мм и равномерно распределяли по опытным делянкам. Затем растительные остатки обрабатывали микробными биопрепаратами «Жыцень» и «Полибакт» из расчета 300 л/га биопрепарата. Заделку измельченных растительных остатков проводили сразу же после обработки биопрепаратами на глубину 5–7 см, но не глубже 10 см дисковыми орудиями.

Микробиологическую индикацию почвы выполняли согласно общепринятым в почвенной микробиологии методам [5, 6].

Для оценки влияния препаратов «Жыцень» и «Полибакт» на микробное население почвы (зимогенную, олиготрофную, автохтонную группы) использовали чашечный метод Коха, с помощью которого определяли численность аммонифицирующих, амилотических, олигонитрофильных, олигокар-

бофильных, автохтонных микроорганизмов на селективных питательных средах: мясопептонном (МПА), крахмало-аммиачном (КАА), голодном (ГА), нитритном (НА) агарах, среде Эшби, соответственно. Все посеы проводили в трехкратной повторности.

Численность микроорганизмов определяли в колониеобразующих единицах (КОЕ), пересчитывали на 1 г абсолютно сухой почвы.

Расчет эколого-физиологических индексов и коэффициентов выполняли по [8].

Сравнительный анализ численности аммонифицирующих бактерий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ДПЛП) и минерализованном торфянике (МТ) по годам наблюдений (2019–2021 гг.) и вариантам опыта показал, что в среднем за три года наблюдений численность в варианте контроль была в 2,3 раза, в варианте «Жыцень» в 2,7 раза; в варианте «Полибакт» в 4 раза выше, чем на минерализованном торфянике (рис. 1).

На численность бактерий могут оказать влияние и метеорологические условия. Так, в 2019 г. в вегетационный сезон апрель – сентябрь выпало 302 мм осадков, в 2020 г. – 344 мм, в 2021 г. – 477 мм атмосферных осадков. Анализируя численность бактерий по годам исследований видно, что с увеличением количества осадков увеличивается и численность бактерий. Так, от первого года наблюдений к третьему она увеличилась во всех вариантах опыта на ДПЛП в 1,3 раза, а на МТ – в 1,9 раза.

Сравнительный анализ численности микроорганизмов, усваивающих минеральный азот на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и минерализованном торфянике, показал общие черты развития с аммонифицирующими бактериями. В среднем за три года наблюдений (2019–2021 гг.) численность бактерий в контроле оказалась в 1,8 раза, в варианте «Жыцень» в 2,3 раза, в варианте «Полибакт» в 1,9 раза выше, чем на минерализованном торфянике (рис. 2).

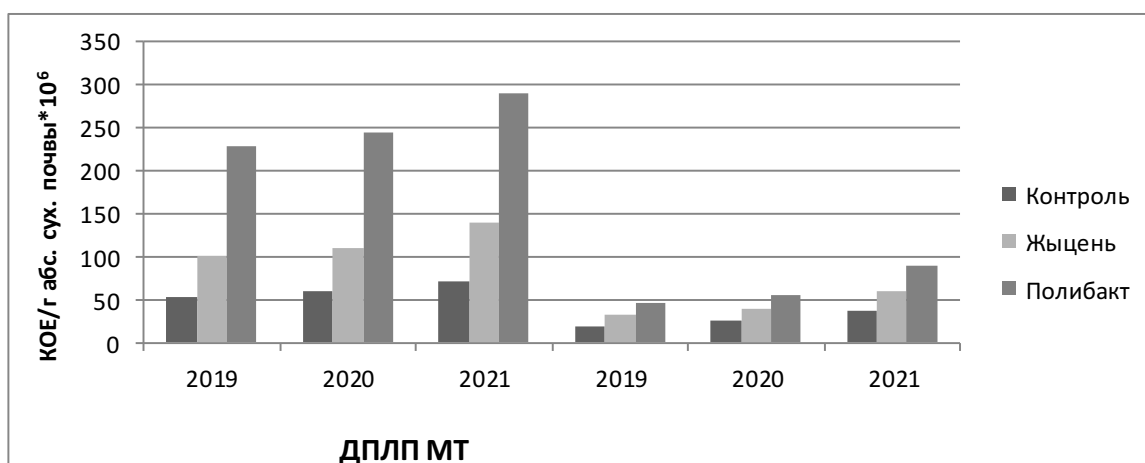


Рис. 1. Количество аммонифицирующих бактерий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ДПЛП) и минерализованном торфянике (МТ)

Численность бактерий от первого года наблюдений к третьему на ДПЛП в варианте контроль увеличилась в 1,1 раза, в варианте «Жыцень» – в 1,4 раза, в варианте «Полибакт» – в 1,5 раза. На минерализованном торфянике соответственно в контроле в 1,7 раза, в варианте «Жыцень» – в 2,1 раза, в варианте «Полибакт» – в 2,1 раза.

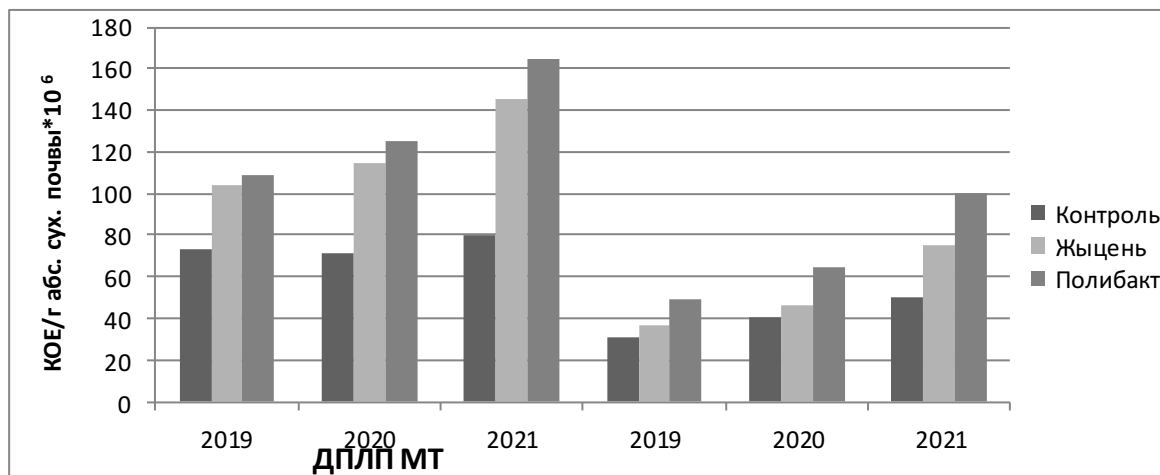


Рис. 2. Количество усваивающих минеральный азот – общее количество бактерий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ДПЛП) и минерализованном торфянике (МТ)

Сравнительный анализ численности олигонитрофильных бактерий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и минерализованном торфянике показал, что за годы наблюдений в варианте контроль численность в 2,2 раза, в варианте «Полибакт» в 2,7 раза выше, чем на минерализованном торфянике. В варианте с «Жыцень» численность на минерализованном торфянике в 1,3 раза оказалась выше, чем на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (рис. 3).

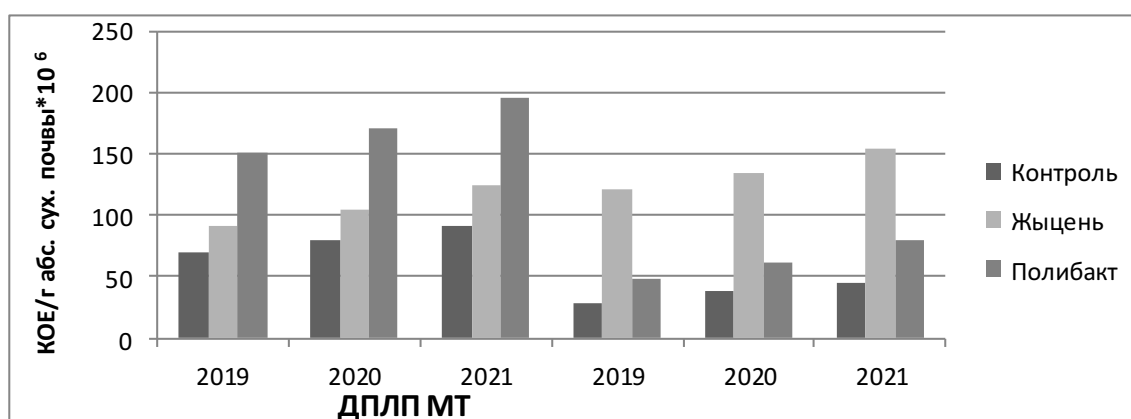


Рис. 3. Количество олигонитрофильных бактерий на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ДПЛП) и минерализованном торфянике (МТ)

От первого года наблюдений к третьему численность олигонитрофильных бактерий на ДПЛП увеличилась в контроле в 1,3 раза, в варианте «Жы-»

чень» – в 1,4 раза, в варианте «Полибакт» – 1,3 раза. На минерализованном торфянике численность олигонитрофильных бактерий от первого года наблюдений к третьему увеличилась в варианте контроль в 1,6 раза, в варианте «Жыцень» – в 1,2 раза, в варианте «Полибакт» – в 1,6 раза.

Таким образом, проведенные исследования показали, что на численность агрономически полезных групп микроорганизмов при внесении микробных биопрепаратов оказывают влияние и экологические условия: тип почвы, метеорологические условия.

Библиографический список

1. Волкова А. В. Рынок минеральных удобрений. Национальный исследовательский университет Высшая школа, 2017. 59 с.
2. Александрова А. В. Органическое земледелие как практика устойчивого землепользования в северной части Калужской области / Ломоносов-2018 : Тезисы докладов XXV Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: Секция «Почвоведение»: 9–13 апреля 2018 г. / Сост. Л. А. Поздняков. М. : МАКС Пресс, 2018. С. 292–293.
3. Прунтова О. В., Сахно О. Н., Мазиров М. А. Курс лекций по общей микробиологии и основам виру-сологии : учеб.-метод. пособие. Владимир : Владимир. гос. ун-т, 2006. – 192 с.
4. Леонтьевская Е. А. Структура эпифитно-сапротрофных бактериальных комплексов зерновых и овощных культур : дис. ... канд. биол. наук: 03.02.03. М., 2014. 89 с.
5. Поликсенова В. Д. Индуцированная устойчивость растений к патогенам и абиотическим стрессовым факторам (на примере томата) // Вестн. БГУ. 2009. 60 с.
6. Основные микробиологические и биохимические методы исследования почв / под ред. Ю. М. Возняковской. Л. : ВНИИСХМ, 1987. 47 с.
7. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1987. 239 с.
8. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробного сообщества почвы, участвующего в трансформации органического вещества : науч. метод. пособие. Н. Новгород : Нижегород с.-х. акад., 2012. 192 с.
9. Доспехов Б. А., Васильев И. П., Туликов А. М. Практикум по земледелию : учеб. для ун-тов. 2-е изд. перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1987. 58 с.

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ ПРОИЗВОДСТВА РОССЕЛЬХОЗЦЕНТРА НА РОСТ ЯРОВЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

С. А. Емелев

*Вятский государственный агротехнологический университет,
emeleffsergej@yandex.ru*

Представлен опыт применения биопрепаратов производства Россельхозцентра в качестве стимуляторов роста растений. Определены наиболее эффективные препараты, повышающие развитие яровых зерновых культур и не вызывающие химического загрязнения, как продукции, так и почвы.

Ключевые слова: биопрепарат, яровые зерновые, влияние, развитие.

Производство продуктов питания в настоящее время начинает ориентироваться на получение экологически чистой (органической) продукции. Чтобы сохранить хотя бы частично текущий потенциал (уровень) производства продуктов сельского хозяйства, биопрепараты должны на текущем этапе частично заменить, а затем возможно и вытеснить химических удобрений, пестициды, регуляторы роста и т. д.

В последние 10 лет резко возросла потребность органической продукции, которую на текущем моменте решают с помощью только использования микробиологии в сельском хозяйстве. Основой микробиологических препаратов служат живые культуры микроорганизмов и продукты их метаболизма. Микробиологические препараты представляют из себя популяции живых клеток, отобранные по полезным свойствам микроорганизмов. В сельском хозяйстве в основном используются живые препараты со сроком использования и хранения не более двух месяцев. В грамме таких препаратов содержится обычно от 2 до 8 млрд клеток бактерий. За счет такой высокой концентрации нужного вида микроорганизма они успешно конкурируют с местной микрофлорой и помогают в ризосфере растения создать благоприятные условия для развития консорциума микроорганизм – растение (цит. по: Завалин, 2011) [1, 2].

На кафедре БРСиСМ ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ определялось мутагенное [3–6], росторегулирующее и фунгицидное действие на ячмене агрохимикатов и биопрепаратов на основе ризосферных бактерий из рода *Pseudomonas* и *Bacillus* [4–10], но мало изучалось влияние на культурные растения новых штаммов микробиологических жидких удобрений.

В филиале Россельхозцентра по Кировской области биологическая лаборатория выпускает микробиологические препараты: азолен, Ж; псевдобактерин-2, Ж; флавобактерин; микробиологическое фосфорное удобрение (МБФУ) в жидкой форме и органо-минеральное удобрение гумат +7 [11].

Цель исследования – изучить влияние препаратов биологического происхождения в жидкой препаративной форме на первоначальном этапе развития яровых зерновых культур.

Лабораторные опыты проводили на яровых зерновых культурах (ячмень Родник Прикамья, пшеница Ирень, овес Кречет) урожая 2019 года. Семена обрабатывали в день посева в соответствии с вариантами опыта, приведенными в таблице. Доза препаратов взята из расчета 1 л/т при текущих значениях титра продаваемых препаратов:

- 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);
- МБФУ (титр $2-3 \cdot 10^9$ кл./мл);
- гумат +7 (смесь гуминовых кислот, 7 минеральных добавок: N, B, Zn, Mg, Mo, Fe).

В контрольном варианте семена сорта Родник Прикамья обрабатывали дистиллированной водой из расчета 20 л/т. Расход рабочей жидкости при обработке семенного материала из расчета 20 л на одну тонну.

В Кировской области одними из самых распространенных сортов яровых зерновых являются: ячмень Родник Прикамья, пшеница Ирень, овес Кречет. ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока является правообладателем на производство оригинальных семян данных сортов. Они относятся к группе среднеспелых, высокоурожайных и в целом среднезасухоустойчивых сортов. Ценные по качеству, но рекомендовано обязательное протравливание семян фунгицидами.

Лабораторную всхожесть семян культур определяли по ГОСТ 12038-84. Всхожесть семян зерновых определяли в рулонах из фильтровальной бумаги, в темноте при постоянной температуре в четырех кратной повторности. На восьмой день после закладки на анализ проводилось измерение длины проростков и корней.

Определяли основные статистические характеристики количественных признаков (длина корней и проростков, лабораторная всхожесть), существенность различий между вариантом и стандартом устанавливали с помощью критерия Стьюдента [12].

Результаты опыта указывают на положительное влияние изучаемых препаратов на лабораторную всхожесть семян и развитие корней и проростков яровых зерновых (табл.). Всхожесть семян зерновых культур согласно ГОСТ 52325-2005 для посева должна быть не ниже 92,0% [6]. В нашем опыте лабораторная всхожесть семян в контрольных вариантах составила у пшеницы 94,2%, ячменя 92,3%, овса 91,0%. Повышение значений этого показателя отмечено в почти всех вариантах опыта, но существенное увеличение получено на пшенице Ирень (псевдобактерин-2 и флавобактерин) +3,8...3,9% (при НСР_{0,95} = 3,5%), ячмене Родник Прикамья (азолен, псевдобактерин-2, МБФУ) +4,8...6,7% (при НСР_{0,95} = 3,2%), овсе Кречет (азолен, псевдобактерин-2, флавобактерин) +4,0...6,0% (при НСР_{0,95} = 3,6%). В целом, универсальным хорошим стимулятором лабораторной всхожести на яровых зерновых культурах оказался псевдобактерин-2, а препараты флавобактерин, МБФУ и гумат+7 слабо-средними стимуляторами данного показателя.

Таблица

Показатели яровых зерновых культур на начальном этапе развития

Показатели	Лабораторная всхожесть			Развитие					
	абс, %	±, %	% к Кс.з.	корни		проростки		Σ прироста может быть в присланной версии нормальный знак	
				см	% к Кс.з.	см	% к Кс.з.	см	% к Кс.з.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
пшеница Ирень									
Контроль с.з.(Кс.з.)	94,2	–	100,0	15,7	100,0	15,6	100,0	31,3	100,0
Азолен, Ж	92,2	-2,0	97,8	14,3***	90,9	14,8	94,8	29,1**	92,8

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Псевдобактерин-2, Ж	98,0	+3,8	104,0	16,0	101,7	16,6* *	106,2	32,6	103,9
Флавобактерин	98,1	+3,9	104,1	13,5***	85,9	15,6	99,9	29,1**	92,9
МБФУ	95,0	+0,8	100,9	16,8**	106,9	15,9	101,7	32,7	104,3
Гумат+7	96,1	+1,9	102,0	17,2***	109,5	14,8*	94,7	32,0	102,1
НСР _{0,95}		3,5							
ячмень Родник Прикамья									
Контроль с.з.(Кс.з.)	92,3	–	100,0	10,5	100,0	12,4	100,0	23,0	100,0
Азолен, Ж	97,1	+4,8	105,1	9,8*	92,5	13,8* **	110,9	23,5	102,5
Псевдобактерин-2, Ж	98,0	+5,7	106,2	10,4	99,0	14,0* **	112,9	24,5	106,5
Флавобактерин	93,3	+1,0	101,0	10,5	99,4	14,1* **	113,7	24,6*	107,1
МБФУ	99,0	+6,7	107,3	11,0	104,2	14,0* **	113,0	25,0**	109,0
Гумат+7	95,1	+2,8	103,0	10,3	98,0	13,8* *	110,8	24,1	104,9
НСР _{0,95}		3,2							
ячмень овес Кречет									
Контроль с.з.(Кс.з.)	91,0	–	100,0	14,1	100,0	13,2	100,0	27,4	100,0
Азолен, Ж	95,0	+4,0	104,4	14,6	103,0	11,7* **	88,9	26,3	96,2
Псевдобактерин-2, Ж	95,1	+4,1	104,5	16,5***	116,9	12,5*	94,3	29,0*	106,0
Флавобактерин	97,0	+6,0	106,6	16,5***	117,1	12,0* **	90,8	28,5*	104,4
МБФУ	91,9	+0,9	101,0	16,4***	115,9	13,4	101,3	29,8** *	108,8
Гумат+7	94,0	+3,0	103,3	15,8***	111,9	13,7	103,4	29,5** *	107,8
НСР _{0,95}		3,6							

Лабораторный опыт показал, что при обработке семян пшеницы азолен и флавобактерин наблюдалась достоверная задержка развития корней ячменя до 13,5...14,3 см (в контроле 15,7 см), а под влиянием МБФУ и гумат+7 существенная стимуляция роста корневой системы на 6,9...9,5%. Большинство биопрепаратов существенно стимулировали развитие корней у овса 11,9...17,1%.

Развитие надземной части ячменя Родник Прикамья значительно увеличили все испытуемые вещества – + 10,8...13,7%. У овса Кречет препараты (азолен, псевдобактерин-2, флавобактерин) вызывали существенную депрессию развития проростков на – 5,7...11,1%.

В целом стимулирующим эффектом развития корней и проростков на всех яровых зерновых культурах обладал препарат МБФУ.

Наибольшая суммарная длина корневой системы и проростков пшеницы, ячменя и овса наблюдалась при воздействии препаратом МБФУ

(+4,3...9,0%). Положительное влияние на рост корней и проростков у ячменя Родник Прикамья оказали все изучаемые препараты (+2,5...9,0%), у овса Кречет большинство биопрепаратов стимулировали развитие растений (+4,4...8,8%). У пшеницы Ирень получены разнонаправленные результаты: псевдобактерин-2, МБФУ, гумат+7 помогли развитию культуры на 2,1...3,9%, а азолен и флавобактерин достоверно ингибировали рост вегетативных частей на 7,1..7,2%.

Таким образом, препарат азолен неэффективен (пшеница и овес) или обладает слабым положительным влиянием (ячмень) на яровые зерновые культуры. Наиболее универсальными, обладающие хорошим стимулирующим влиянием на начальные этапы развития растений яровых зерновых культур, являются псевдобактерин-2 и МБФУ.

В целом, применение биопрепаратов положительно сказывается на начальное развитие растений яровых зерновых. Но имеется специфичность проявления: органо-минеральный гумат +7, биопрепараты псевдобактерин-2 и МБФУ благоприятно влияют на все яровые зерновые; на пшенице Ирень и овсе Кречет применение препарата азолен неэффективно; флавобактерин стимулирует развитие только ячменя и овса. Биопрепараты усиливают рост корневой системы и надземной части растений, повышают лабораторную всхожесть, что будет влиять на формирование большего урожая яровых зерновых культур.

Библиографический список

1. Биопрепараты в сельском хозяйстве (Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве) / И. А. Тихонович, А. П. Кожемяков, В. К. Чеботарь [и др.]. М. : Россельхозакадемия, 2005. 154 с.
2. Завалин А. А. Применение биопрепаратов при возделывании полевых культур // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 9–11.
3. Володин В. Г., Лисовская З. И. Радиационный мутагенез у ячменя. Мн. : Наука и техника, 1979. 144 с.
4. Влияние биопрепаратов на яровой ячмень Белгородский 100 / С. А. Емелев, А. В. Помелов, М. В. Черемисинов, Г. П. Дудин // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XXI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2019. С. 203–208.
5. 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.
6. 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 / Г. П. Дудин, С. А. Емелев (RU). 14 с.
7. Реакция проростков ячменя на обработку семян биопрепаратами на основе ризобактерий / С. А. Емелев, А. В. Помелов, М. В. Черемисинов, Г. П. Дудин // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2018. С. 152–156.
8. 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.

9. 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. Киров : Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. Книга 1. С. 179–183.

10. Помелов А. В., Дудин Г. П. Защитное и неспецифическое действие биофунгицидов на яровом ячмене // Агро XXI. 2009. № 7–9. С. 35–36.

11. Россельхозцентр по Кировской области [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosselkhozcenter.com/index.php/o-filiale-22/17716-filial-fgbu-rosselkhoztsentr-po-kirovskoj-oblasti> (дата обращения: 05.03.2022)

12. Основы научных исследований в агрономии / В. Ф. Моисейченко, М. Ф. Трифонова, А. Х. Заверюха, В. Е. Ещенко. М. : Колос, 1996. 336 с.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЕСТИЦИДОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА МИКРОБИОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЧВ

Л. Е. Хмелевцова, И. С. Сазыкин, Т. А. Ажогина, М. И. Хаммами

Южный федеральный университет,

lehmelevcova@sfedu.ru, issa@sfedu.ru, tazhogina@sfedu.ru, mars@sfedu.ru

В данной работе представлены результаты исследования бактериального сообщества сельскохозяйственных почв, подверженных воздействию неорганических удобрений и пестицидов. Было обнаружено преобладание филумов Actinobacteria, Proteobacteria, Planctomycetes, Acidobacteria, Verrucomicrobia, Bacteroidetes, Gemmatimonadetes и Chloroflexi.

Ключевые слова: почва, сельское хозяйство, микробиом, удобрения, пестициды.

Бактерии в сельскохозяйственной почве обуславливают почвенные функции, имеющие решающее значение для здоровья и урожайности возделываемых культур. Почвенные микроорганизмы участвуют в круговороте питательных веществ, поддержании плодородия почвы и связывании углерода в почве, и оказывают как прямое, так и косвенное воздействие на здоровье растений [1]. Почва обладает практически самым высоким уровнем микробного разнообразия среди всех сред [2]. На таксономический состав и разнообразие почвенных микробных сообществ могут влиять различные факторы окружающей среды. Стремление к лучшему пониманию состава бактериального сообщества и того, как на него влияют методы ведения сельского хозяйства, является многообещающим направлением для повышения нашей способности прогнозировать влияние управления на важные функции почвы. Полученные профили структуры почвенных бактериальных сообществ могут быть полезным инструментом для прогнозирования воздействия методов управления на функции почвы [3].

Целью данной работы являлось изучение таксономического состава и разнообразия бактериального сообщества сельскохозяйственных почв, подверженных воздействию неорганических удобрений и пестицидов.

Схема полевого эксперимента включала делянки площадью 20x12 м², занятые посевами нута (*Cicer arietinum*) и гороха (*Pisum sativum*), с различными обработками – контроль (без удобрений и пестицидов), внесение только удобрений, внесение только пестицидов, совместное внесение удобрений и пестицидов. В качестве минеральных удобрений вносили азотно-фосфорно-калийные удобрения (NPK). Образцы почвы отбирались дважды - до внесения пестицидов, но после внесения удобрений, и на момент уборки урожая, т.е. экспонированные с пестицидами и минеральными удобрениями. Почву отбирали методом «конверта», тщательно гомогенизировали пробы, после этого замораживали при -20°C. Тотальную ДНК выделяли с помощью набора реактивов «innuSPEED Soil DNA Kit» (Analytik Jena, Германия) согласно инструкции производителя. Амплифицировали участок V3-V4 16S рРНК, последовательности анализировали секвенированием следующего поколения с использованием системы MiSeq (Illumina, Сан-Диего, Калифорния, США). Затем полученные последовательности были сгруппированы в операционные таксономические единицы (OTU) с помощью базы данных GreenGenes 13.8. Богатство и разнообразие бактериального сообщества оценивали с помощью расчета индексов Chao1, Шеннона и Симпсона.

В структуре сообществ всех изученных образцов почв было обнаружено преобладание филумов Actinobacteria (17,65–32,26%), Proteobacteria (17,73–28,24%), Planctomycetes (10,11–21,27%), Acidobacteria (5,26–11,11%), Verrucomicrobia (3,91–9,21%), Bacteroidetes (3,61–11,25%), Gemmatimonadetes (2,46–7,99%), Chloroflexi (0,99–7,09%).

Изменение таксономического состава сообщества в ответ на различные обработки в значительной мере модулировалось видом возделываемого растения. Так, относительное количество бактерий наиболее преобладающего филума Actinobacteria увеличивалось после всех обработок в почве под посевами гороха. В почве под посевами нута обилие Actinobacteria увеличивалось после внесения удобрений (как отдельно, так и совместно с пестицидами), но уменьшалось при воздействии пестицидов. Относительное обилие Proteobacteria в почве под посевами гороха снижалось при внесении отдельно удобрений и отдельно пестицидов, но значительно увеличивалось при совместном воздействии этих факторов. При этом в почве под нутом обилие протеобактерий практически не менялось при внесении только удобрений, но увеличивалось в случае внесения пестицидов (как отдельно, так и с удобрениями). Бактерии филума Planctomycetes также практически не изменяли обилие при внесении отдельно удобрений в почву под посевами нута, однако снижались при внесении пестицидов. И наоборот, пестициды увеличивали относительное обилие Planctomycetes в почве, занятой горохом. Количество Acidobacteria в почве под нутом снижалось при воздействии удобрений и увеличивалось при воздействии пестицидов. В посевах гороха обилие ацидобактерий снижалось при совместном внесении удобрений и пестицидов. Verrucomicrobia практически не реагировали на различные обработки в поч-

вах, занятых горохом, но значительно увеличивали обилие при внесении пестицидов под посевы нута.

Интересно, что внесение пестицидов (отдельно и вместе с удобрениями) приводило к увеличению богатства сообщества в почве под посевами гороха, выраженное в увеличении количества наблюдаемых OTU и индекса Chao1. Применение удобрений и пестицидов (отдельно и совместно друг с другом) незначительно повышало разнообразие бактерий в посевах гороха (индекс Шеннона). Это может быть обусловлено, во-первых, развитием групп микроорганизмов, способных осуществлять деструкцию загрязняющих веществ или просто более устойчивых к ним (например, из филума Actinobacteria). Во-вторых, применение средств химической защиты на горохе способствовало лучшему росту растений и, таким образом, более развитой корневой системе, производящей большее количество ризоэкссудата.

Бактериальное сообщество почвы, занятой посевами нута, было более чувствительно к применению пестицидов (как отдельно, так и в комплексе с удобрениями). Внесение средств химической защиты приводило к уменьшению бактериального богатства (количества наблюдаемых OTU и индекса Chao1), снижало разнообразие и выравненность сообщества (индексы Шеннона и Симпсона). Возможно, микробиому почв, сформированных растениями *Cicer arietinum*, требуется больше времени на восстановление исходных параметров.

Таким образом, было показано, что внесение минеральных удобрений и средств химической защиты растений меняет таксономический состав, богатство и разнообразие бактериальных сообществ сельскохозяйственных почв. При этом воздействие химических веществ на микробиом значительно зависит от вида возделываемых растений, которые способны формировать устойчивый к неблагоприятным воздействиям микробиом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-76-10048, <https://rscf.ru/project/21-76-10048/> в Южном федеральном университете.

Библиографический список

1. Fierer N. Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome // Nature Reviews Microbiology. 2017. Vol. 15(10). P. 579–590.
2. Raynaud X., Nunan N. Spatial ecology of bacteria at the microscale in soil // PLoS ONE. 2014. Vol. 9(1): e87217.
3. Associations between soil bacterial community structure and nutrient cycling functions in long-term organic farm soils following cover crop and organic fertilizer amendment / A. L. Fernandez, C. C. Sheaffer, D. L. Wyse, C. Staley, T. J. Gould, M. J. Sadowsky // Science of The Total Environment. 2016. Vol. 566–567. P. 949–959. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.073.

ЭКОЛОГИЯ И МНОГООБРАЗИЕ МЕТИЛОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ

О. В. Прокудина¹, А. В. Третьякова¹, Г. В. Песцов^{1,2}

¹ Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого,
info@tspu.ru

² Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,
vniif@vniif.ru

В работе обобщены данные о метилотрофных бактериях. Рассмотрена экологическая значимость данных микроорганизмов и представлена информация об их распространении. Выделены особенности питания, а так же описаны наиболее изученные представители.

Ключевые слова: метилотрофы, микроорганизмы, бактерии, облигатные метилотрофы, факультативные метилотрофы.

Метилотрофы – микроорганизмы, использующие в качестве углерода и энергии одноуглеродные (C_1) соединения или соединения с несколькими С-атомами, но не имеющих С-С связи. В большинстве этих соединений углерод представлен в виде метильной группы (СН). К таким веществам относятся метан (CH_4), метанол (CH_3OH), формальдегид (НСОН), формиат (НСООН), метиламин (CH_3NH_2), хлорметан (CH_3Cl), цианид калия (КСН). По способности утилизировать углерод метилотрофы подразделяются на две основные подгруппы микроорганизмов: облигатные и факультативные метилотрофы. Облигатные метилотрофы способны расти на метане, кроме того, их рост могут поддерживать диметиловый эфир и метанол. Факультативные метилотрофы способны расти на метаноле и метиламинах, но не на метане. Также их рост может поддерживать муравьиная кислота и некоторые простые C_2 - и C_4 -соединения [5]. Характерной особенностью метилотрофов является наличие в клетке развитой системы внутрицитоплазматических мембран, которые делятся на два типа: внутрицитоплазматические мембраны I типа представлены стопками плотно упакованных везикулярных дисков, распределенных по всей цитоплазме; внутрицитоплазматические мембраны II типа имеют вид ламелл, расположенных по периферии цитоплазмы клетки [6]. Истинные метилотрофные бактерии принадлежат к семейству *Methylococcaceae*, включающее роды *Methylococcus*, представленный вегетативными клетками, напоминающими кокки и коккобациллы (0,7–1,5×1,0–1,5 мкм) и *Methylomonas*, представленный монадами и палочками (0,5–1,0×0,7–2,0 мкм). Основным таксономическим признаком при выделении в это семейство является морфологические особенности клетки и способность использовать метан в качестве единственного источника углерода и энергии в аэробных условиях [3]. Метилотрофы, отнесенные к семейству *Methylococcaceae*, представляют собой грамотрицательные эубактерии с разной морфологией и размерами клеток, подвижные или неподвижные.

Некоторые штаммы этого таксономического семейства способны образовывать цисты. Метилотрофы широко распространены в природе и участвуют в биосферных циклах превращения углерода, азота, фосфора и других биогенных макро- и микроэлементов, являются важным звеном в цепи метаболических превращений летучих C_1 -соединений [1].

Данные микроорганизмы поддерживают баланс в круговороте различных микро- и макрокомпонентов экологических систем. Они регулируют основные биогеохимические процессы из-за способности окислять соединения с одним или несколькими атомами углерода (C_1 - C_n). Это определяет значение метилотрофов в обеспечении устойчивости глобального углеродного цикла. Представители метилотрофов широко распространены в природе и встречаются в пресной, питьевой и морской воде, пыли, озерных отложениях, почве, сточных водах, в рубцах жвачных животных и др. В последние годы метилотрофы изучаются больше из-за их способности расти на субстратах с нулевой стоимостью и отходах. Чаще всего субстраты для метилотрофов смертельны для других организмов, поэтому они восполняют устойчивость окружающей среды, превращая сложные субстраты в простые. Побочные продукты, полученные в результате этого преобразования, имеют коммерческое и промышленное применение [4].

Метилотрофные бактерии – перспективные объекты биотехнологии. Они находят огромное практическое применение. Биомасса метилотрофных микробов характеризуется высоким содержанием белка и аминокислот. Они являются продуцентами аминокислоты серина, витамина B12, убихинонов Q_8 , Q_9 , Q_{10} , метаксина, внеклеточных полисахаридов, поли- β -гидроксибутирата (полимера, имеющего промышленное значение как заменитель пластмасс).

Одним из перспективных направлений является использование метилотрофных бактерий, как биокатализаторов, для обнаружения выбросов метана в угольных шахтах и для очистки сточных вод от метилсодержащих соединений. Так же метилотрофы служат основой для создания генно-инженерных штаммов – продуцентов эукариотических белков медицинского и ветеринарного назначения [7]. Промышленное значение имеет и осуществляемая метилотрофами биотрансформация: иммобилизованные бактерии, клеточные экстракты и очищенные ферменты окисления C_1 -соединений, в первую очередь метанолдегидрогеназа, катализируют окисление ряда органических соединений с короткой цепью, ароматических и ациклических углеводородов, фенолов, спиртов и гетероциклических углеводородов [2].

Работа выполнена в рамках гранта правительства Тульской области в сфере науки и техники 2021 года «Создание способа культивирования метанотрофных бактерий» по договору № ДС/287 от 25.10.2021 г.

Библиографический список

1. Агафонова Н. В. Таксономическая и функциональная характеристика аэробных метилотрофных бактерий-фитосимбионтов : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.03. Пущино, 2017. 156 с.

2. Гальченко В. Ф. Рост микроорганизмов на C1-соединениях. Пушино : ОНТИ НЦ БИ АН СССР, 1977. С. 10–14.

3. Троценко Ю. А. Биохимия и физиология метилотрофных микроорганизмов // Сборник научных статей АН СССР. Пушино : Институт биохимии и физиологии микроорганизмов, 1987. С. 25.

4. Vadivukkarasi P., Jayashree S., Seshadri S. Occurrence and ecological significance of Methyl // Journal of Tropical Ecology. 2018. Vol. 54. No. 4. P. 575–587.

5. Эволюция, метаболизм и биотехнологическое использование метилотрофных микроорганизмов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/14997.html> (дата обращения: 14.03.2022).

6. Метилотрофные бактерии и их метаболизм [Электронный ресурс]. – URL: http://samlib.ru/o/oleg_w_m/methylotrops1rtf.shtml (дата обращения: 14.03.2022).

7. Метилотрофы [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook/wiki/dictionary/Methylotrophs.html> (дата обращения: 14.03.2022).

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БАКТЕРИЙ РОДА *PSEUDOMONAS* ДЛЯ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ

В. А. Матушкин

Вятский государственный университет, vivanin3972@gmail.com

В статье приводятся данные о возможности использования при микроклональном размножении некоторых видов бактерий рода *Pseudomonas*: *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. aureofaciens*, *P. chlororaphis*, *P. protegens* и *P. aurantiaca*.

Ключевые слова: фитогормоны, *Pseudomonas*, продуценты, стимуляция роста растений.

Как известно, для роста растениям нужны неорганические (например, азот и фосфор) и органические (например, фитогормоны) вещества. Растения способны сами синтезировать органические вещества и поглощать доступные неорганические соединения из окружающей среды. Несмотря на это, в природе часто встречаются симбиозы растений и микроорганизмов. Растения дают последним питательную среду для жизни, а микроорганизмы вырабатывают азот, фитогормоны и другие труднодоступные или трудносинтезируемые элементы. С ростом растения его потребности в веществах меняются и видовой состав микроорганизмов его ризосферы тоже изменяется.

Известно, что микроорганизмы способны к синтезу фитогормонов (ауксинов, гиббереллинов и цитокининов), антибиотиков, подавляющих рост фитопатогенных бактерий и грибов. Кроме стимуляции роста и подавления фитопатогенов они могут помогать растению в фиксации азота и фосфора [1].

Микроклональное размножение – один из способов вегетативного размножения растений. Использование экспланты (группы клеток, способные к размножению) позволяет получить тысячи копий растений в год. Для лучшего роста к эксплантам в среду вносят дополнительные вещества (например,

фитогормоны и антибиотики). Также возникают трудности при адаптации этих растений к почвенным условиям. В настоящее время все необходимые вещества вносят в среду для выращивания уже готовыми. Однако многие из них могут быть синтезированы микроорганизмами [2, 3].

Для замены дорогих компонентов, вводимых в среду, предлагается вносить в нее культуру микроорганизмов, естественных для растений в природных условиях и создающих с ними симбиоз. Это позволяет снизить стоимость клонов и расширяет спектр потребителей.

Бактерии рода *Pseudomonas* присутствуют в ризосфере растений в различной концентрации на протяжении всей жизни. Они способны к регулированию грибковой активности, защите растения от патогенов и синтезу фитогормонов, что положительно влияет на растение, в том числе, на его скорость роста и здоровье [2–4].

Уже существуют препараты, применяемые для обработки семян и при посадке растений в почву. Они содержат в себе как метаболиты микроорганизмов, так и живые культуры [5]. На данный момент практически нет препаратов, состоящих из культур микроорганизмов и предназначенных для микрклонального размножения.

Цель данной работы – оценить возможности использования бактерий рода *Pseudomonas* для микрклонального размножения. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: 1) по данным литературы выявить непатогенные для растений виды бактерий рода *Pseudomonas*; 2) сравнить найденных представителей по способностям: к синтезу фитогормонов, защите растений от фитопатогенов, фиксации атмосферного азота, мобилизации фосфора и синтезу антибиотиков.

Многим представителям рода *Pseudomonas* свойственна та или иная фитогормональная активность. В то же время часть из них являются возбудителями болезней растений. Так как для микрклонального размножения нужны здоровые экспланты, то подходящими будут только непатогенные для растений виды бактерий рода *Pseudomonas*.

Основываясь на литературных данных [6–19], были отобраны несколько видов бактерий рода *Pseudomonas* с известными способностями к продуцированию необходимых соединений. Результаты анализа представлены в таблице.

Проанализировано 6 видов бактерий рода *Pseudomonas*, способных к синтезу фитогормонов. Из них способны синтезировать ауксины: *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. aureofaciens*, *P. chlororaphis* и *P. protegens*; гибберлины: *P. fluorescens*, *P. putida* и *P. aurantiaca*; цитокинины: *P. fluorescens*, *P. aureofaciens* и *P. chlororaphis*. Также, из представленных в таблице, *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. aureofaciens* и *P. chlororaphis* способны синтезировать сразу несколько фитогормонов.

Кроме способности к синтезу фитогормонов, все из исследованных видов проявляют способность к регуляции активности фитопатогенов растений, подавляя их рост.

Сравнение выбранных видов бактерий рода *Pseudomonas*

Критерии		Виды бактерий					
		<i>P. fluorescens</i>	<i>P. putida</i>	<i>P. aureofaciens</i>	<i>P. chlororaphis</i>	<i>P. protegens</i>	<i>P. aurantiaca</i>
Продуцируемые фитогормоны	Ауксины	+	+	+	+	+	–
	Цитокинины	+	–	+	+	–	–
	Гиббереллины	+	+	–	–	–	+
Патогенность, группа		–	–	–	–	–	–
Защита от фитопатогенов		+	+	+	+	+	+
Фиксация азота		+	+	+	+	+	+
Мобилизация фосфора		+	+	+	+	+	–
Синтез антибиотиков		+	–	+	+	+	+

Примечания: «+» – наличие подтверждений о проявлении микроорганизмом активности по данному признаку; «–» – отсутствие подтверждений активности микроорганизма по данному признаку.

В той или иной степени, все рассматриваемые в таблице виды, способны к фиксации азота. Однако многое зависит от штамма микроорганизма: не все штаммы изученных видов способны к синтезу тех или иных соединений. Так, штамм *P. aurantiaca* не способен к мобилизации фосфора, а штамм *P. putida* не способен к синтезу антибиотиков.

Таким образом, для дальнейшего изучения могут быть рекомендованы следующие виды бактерий рода *Pseudomonas*: *P. aureofaciens*, *P. chlororaphis*, *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. protegens* и *P. aurantiaca*, потому что они способны в той или иной степени продуцировать фитогормоны, регулировать активность фитопатогенов, способствовать фиксации азота, мобилизовать фосфор и синтезировать антибиотики, а также, они не являются фитопатогенными. В дальнейшем, при проведении экспериментов, планируется протестировать имеющиеся на рынке препараты для обработки семян и внесения в почву, которые содержат в себе культуры бактерии рода *Pseudomonas*, на способность защищать растения и стимулировать их рост при микроклональном размножении.

Библиографический список

1. Биотехнология культивирования азотфиксирующих почвенных микроорганизмов [Электронный ресурс]. – URL: <http://elibrary.asu.ru/xmlui/bitstream/handle/asu/9329/vkr.pdf?sequence=1> (дата обращения: 07.02.2022).
2. Бурова Ю. А., Ибрагимова С. А., Ревин В. В. Получение бактериальной суспензии *Pseudomonas aureofaciens* 2006 на мелассе и изучение некоторых ее свойств // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 10 (146). С. 61–65.
3. Князева Т. В. Регуляторы роста растений в Краснодарском крае. Краснодар : ЭДВИ, 2013. 128 с.
4. Сафронова Г. В., Гаранович И. М., Алещенкова З. М. Влияние микробных препаратов на рост и развитие декоративных древесных растений // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты : Сб. науч. трудов. Минск : Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Белорусская наука», 2015. Т. 7. С. 266–277.

5. Жевнова Н. А. Биоэкологическое обоснование применения новых штаммов бактерий *Bacillus subtilis* для защиты озимой пшеницы от фузариозных корневых гнилей и желтой пятнистости листьев : дис. ... канд. биол. наук : 06.01.07. Краснодар, 2022. 133 с.
6. Безлер Н. В., Петюренко М. Ю. Влияние интродукции бактерий рода *Pseudomonas* в агроценозе сахарной свеклы на микробное сообщество филлопланы // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. Краснодар : КубГАУ, 2020. С. 175–178.
7. Боронин А. М. Ризосферные бактерии рода *Pseudomonas*, способствующие росту и развитию растений // Соросовский образовательный журнал. 1998. №10. С. 25–31.
8. Гарипова С. Р. Формирование продуктивности и стрессоустойчивости бобовых растений в ассоциации с эндофитными бактериями : дис. ... док. биол. наук: 03.01.05. Уфа, 2020. 272 с.
9. Алесина Н. В. Изучение смены бактериальных компонентов в ризосфере и ризоплане в процессе вегетации растения на примере овса (*Avena sativa*) // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. 2010. №1. С. 5–9.
10. Исаева К. Х. Образование гиббереллина и гиббереллиноподобных веществ углеводородокисляющими бактериями // Вестник МОГУ. Серия: Естественные науки. 2009. № 4. С. 96–101.
11. Лысак В. В. Микробиология. Минск: БГУ, 2007. 429 с.
12. Перспективы применения бактерий – продуцентов липопептидов для защиты растений (обзор) / И. В. Максимов, Б. П. Сингх, Е. А. Черепанова, Г. Ф. Бурханова, Р. М. Хайруллин // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. Т. 56. № 1. С. 19–34. doi: 10.31857/S0555109920010134
13. Микроорганизмы – продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение / Е. Л. Цавкелова, С. Ю. Климова, Т. Л. Чсрдынцева, Л. И. Нструсов // Прикладная биохимия и микробиология. 2006. Т. 42. № 2. С. 133–143. doi: 10.1134/S0003683806020013
14. Сидоров А. В., Зайцева Ю. В., Маракаев О. А. Влияние культуральной жидкости ассоциативных бактерий рода *Pseudomonas* на прорастание, морфогенез и рост *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó (Orchidaceae) в культуре *in vitro* // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. №51. С. 6–24. doi: 10.17223/19988591/51/1
15. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам / И. В. Максимов, С. В. Веселова, Т. В. Нужная, Е. Р. Сарварова, Р. М. Хайруллин // Физиология растений. 2015. Т. 62, № 6. С. 763–775. doi: 10.7868/S0015330315060111
16. Стимуляция корнеобразования и продуктивности растений ризосферными бактериями рода *Pseudomonas* за счет увеличения биодоступности фосфатов / В. А. Рыбакова, Ю. М. Кулешова, И. Н. Феклистова, И. А. Гринева, В. А. Ломоносова, Т. Л. Скаун, Д. В. Маслак // Наука и образование в современных условиях: материалы междунар. (заочной) науч.-практ. конф. Нефтекамск : Научно-издательский «Мир науки», 2017. С. 36–43.
17. Стимуляция роста рапса бактериями рода *Pseudomonas* – антагонистами фитопатогенов / Ю. М. Кулешова, В. А. Рыбакова, И. Н. Феклистова, Д. В. Маслак, М. Урмонас // Труды Белорусского государственного университета. Серия: физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2016. Т. 11. Ч. 1. С. 154–161.
18. Четвериков С. П., Логинов О. Н. Новые цитокининподобные метаболиты *Pseudomonas chlororaphis* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5 (3). С. 218–220.
19. Шабаев В. П. Отзывчивость растений на применение азотфиксирующей бактерии в различных почвенных условиях // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 4. С. 51–54. doi: 10.31857/S2500262721040116

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПРЕССИИ СТРЕССОВЫХ ГЕНОВ У *RHODOCOCCUS ERYTHROPOLIS* ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

А. Р. Лицевич, Л. Е. Хмелевцова, И. С. Сазыкин, М. А. Сазыкина
Южный федеральный университет

В статье представлены результаты оценки экспрессии генов окислительного стресса у *Rhodococcus erythropolis* при воздействии различных углеводородов.

Ключевые слова: углеводороды, загрязнение, окислительный стресс, микроорганизмы.

Добыча нефти в настоящий момент ведется довольно активно, несмотря на некоторое сокращение объемов выработки [1]. В процессе деятельности нефтедобывающей отрасли неизбежно происходят утечки нефти и ее компонентов (углеводородов) в окружающую среду. Загрязнение почвы нефтепродуктами представляет собой серьезную экологическую проблему и стимулирует человечество искать пути для ее решения [2]. Многие углеводороды, входящие в состав нефти, довольно стабильны в окружающей среде и с трудом разлагаются, что сильно вредит экосистемам [3, 4]. Биоремедиация может стать отличным решением проблемы загрязнения, поскольку является куда более экологичным подходом, чем физико-химическая очистка, создающая вторичное загрязнение. Для биоремедиации могут быть использованы микроорганизмы, способные к деструкции нефти. Процесс разложения осуществляется через некоторое количество промежуточных стадий и происходит с участием специализированных ферментов в бактериальной клетке. В конечном счете образуются вода и углекислый газ благодаря внутриклеточному окислению [5, 6]. Процессы окисления с участием оксигеназ в клетке сопровождаются образованием активных форм кислорода, которые способствуют развитию окислительного стресса в клетке. Степень повреждений и эффективность адаптации клеток микроорганизмов к окислительному стрессу можно оценить в том числе и по изменению экспрессии генов окислительного стресса, кодирующих белки, нейтрализующие активные формы кислорода – супероксиддисмутазы, каталазы, пероксидазы.

В связи с вышесказанным целью данной работы было изучить экспрессию генов окислительного стресса при влиянии различных углеводородов на клетки *Rhodococcus erythropolis*.

Объектом исследования являлся штамм *R. erythropolis*, выделенный из почвы импактной зоны Новочеркасской ГРЭС в 2014 году.

В ходе работы для создания необходимых условий культивирования была использована питательная среда Диановой-Ворошиловой [7] с добавле-

нием 0,5% дрожжевого экстракта и 3 различных углеводов: циклогексана, антрацена и дизельного топлива.

Для определения экспрессии стрессовых генов использовались методы молекулярной биологии.

Экспрессия гена *soxR*, кодирующего редокс-чувствительный транскрипционный фактор подавлялась в присутствии циклогексана и антрацена (в $0,6 \pm 0,1$ и $0,9 \pm 0,1$ раз). Дизельное топливо несколько повышало экспрессию – в $2,2 \pm 0,6$ раз.

Усиление экспрессии гена железно-марганцевой супероксиддисмутазы (*sodA*) наблюдалось в большей степени в присутствии дизельного топлива – в $2,5 \pm 0,9$ раз. Циклогексан и антрацен увеличивали экспрессию гена *sodA* – в $1 \pm 0,3$ и $1,2 \pm 0,5$ раз, соответственно.

Увеличение активности медно-цинковой супероксиддисмутазы, кодируемой геном *sodC*, наблюдалось в большей степени в присутствии циклогексана – в $4,8 \pm 0,5$ раз. Дизельное топливо усиливало экспрессию гена *sodC* в меньшей степени – в $3,3 \pm 0,4$ раз. Антрацен менее всего оказал воздействия на изменение экспрессии – увеличение происходило всего в $1,2 \pm 0,15$ раз.

Было выявлено значительное усиление экспрессии гена *kataA*, кодирующего монофункциональную каталазу, при культивировании *Rh. erythropolis* с дизельным топливом – в $21,03 \pm 2,7$ раз. Циклогексан и антрацен вызывали намного меньшее изменение экспрессии – в $1,39 \pm 0,2$ и $1,35 \pm 0,2$ раз, соответственно.

Наибольшее увеличение активности каталазы-пероксидазы HPI, кодируемой геном *katG*, наблюдалось при инкубировании с циклогексаном – в $17,4 \pm 1,4$ раз. Инкубация с антраценом усиливала экспрессию гена каталазы-пероксидазы в $2,3 \pm 0,5$, с дизельным топливом – в $2,5 \pm 0,2$ раз.

При оценке изменения экспрессии гена *recA*, контролирующего SOS-ответ, было отмечено значительное усиление в присутствии дизельного топлива – в $28,9 \pm 1,7$ раз. В присутствии антрацена увеличение происходило в меньшей степени – в $10 \pm 0,8$ раз. Циклогексан менее всего оказывал влияние на изменение экспрессии гена *recA* – увеличение происходило всего в $3,1 \pm 0,16$ раз.

По результатам измерения транскрипционной активности генов SOS-ответа видно, что экспрессию гена *dinB*, кодирующего ДНК полимеразу IV, наиболее сильно индуцировало присутствие антрацена в культуральной среде по сравнению с контролем – в $1,9 \pm 0,15$ раз. Присутствие в среде циклогексана и дизельного топлива снижало экспрессию гена *dinB* (в $0,24 \pm 0,02$ и $0,11 \pm 0,02$).

Таким образом, было отмечено, что исследуемые углеводороды вызывают изменения в экспрессии генов окислительного стресса. Для гена *soxR*, кодирующего редокс-чувствительный транскрипционный фактор было отмечено подавление экспрессии в присутствии циклогексана и антрацена и повышение экспрессии в присутствии дизельного топлива. Для генов, кодирующих супероксиддисмутазы – железно-марганцевую (*sodA*) и медно-

цинковую (*sodC*) было отмечено разное изменение экспрессии: дизельное топливо сильнее всего увеличивало экспрессию гена *sodA*, причем в большей степени, чем экспрессию *sodC*, а циклогексан, напротив, в большей степени увеличивал экспрессию гена *sodC*. Антрацен оказывал не слишком значительное влияние на экспрессию этих генов. Для генов, кодирующих каталазы – монофункциональную каталазу (*katA*) и бифункциональную каталазу-пероксидазу (*katG*), наблюдалось изменение экспрессии подобное изменению экспрессии супероксиддисмутаз: дизельное топливо значительно усиливало экспрессию гена *katA*, в то время как циклогексан в большей степени увеличивал экспрессию гена *katG*. Антрацен так же оказывал слабое влияние на изменение экспрессии генов каталаз.

Для гена *recA*, контролирующего SOS-ответ, отмечалось значительное увеличение в присутствии дизельного топлива и меньшее увеличение в присутствии антрацена. Для гена позднего SOS-ответа – *dinB*, кодирующего склонную к ошибкам ДНК-полимеразу IV отмечалось увеличение экспрессии в присутствии антрацена и подавление в присутствии дизельного топлива и циклогексана. Комбинированное действие дизельного топлива может объясняться сложностью его состава, в который входят алифатические углеводороды (алканы), соединения, содержащие циклические группировки (циклоалканы, например циклогексан или циклопентан), а также ароматические углеводороды, имеющие в своем составе одно или больше бензольных колец. Наименее заметные изменения в экспрессии наблюдались в присутствии антрацена, что может объясняться тем, что его добавляли в кристаллическом виде, и его частицы практически не погружались в питательную среду и не оседали на дно, а потому меньше взаимодействовали с бактериальными клетками и вероятно поэтому оказывали на них меньшее влияние.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № 0852-2020-0029.

Библиографический список

1. Министерство энергетики Российской Федерации: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/910> (дата обращения: 22.10.2021).
2. Effect of soil organic matter on petroleum hydrocarbon degradation in diesel/fuel oil-contaminated soil / Y. A. Chen, P. W. Grace Liu, L. M. Whang, Y. J. Wu, S. S. Cheng // Journal of bioscience and bioengineering. 2020. Vol. 129(5). P. 603–612. doi: 10.1016/j.jbiosc.2019.12.001.
3. Remediation of crude oil-contaminated coastal marsh soil: Integrated effect of biochar, rhamnolipid biosurfactant and nitrogen application / Z. Wei, J. J. Wang, L. A. Gaston, J. Li, L. M. Fultz, R. D. DeLaune, S. K. Dodla // Journal of hazardous materials. 2020. Vol. 396. No. 122595. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.122595.
4. Concentrations in human blood of petroleum hydrocarbons associated with the BP/Deepwater Horizon oil spill, Gulf of Mexico / P. W. Sammarco, S. R. Kolian, R. A. Warby, J. L. Bouldin, W. A. Subra, S. A. Porter // Archives of toxicology. 2016. Vol. 90(4). P. 829–837. doi: 10.1007/s00204-015-1526-5.

5. Mishra S., Singh S. N. Microbial degradation of n-hexadecane in mineral salt medium as mediated by degradative enzymes // *Bioresource technology*. 2012. Vol. 111. P. 148–154. doi: 10.1016/j.biortech.2012.02.049.

6. Degradation of n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in petroleum by a newly isolated *Pseudomonas aeruginosa* DQ8 / Z. Zhang, Z. Hou, C. Yang, C. Ma, F. Tao, P. Xu // *Bioresource technology*. 2011. Vol. 102(5). P. 4111–4116. doi: 10.1016/j.biortech.2010.12.064

7. Ворошилова А. А., Дианова Е. В. Окисляющие нефть бактерии – показатели интенсивности биологического окисления нефти в природных условиях // *Микробиология*. 1952. Т. 21, № 4. С. 408–415.

ГЕНЫ РЕЗИСТЕНТНОСТИ К АНТИБИОТИКАМ У МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ КУРИНОГО ФАРША

*Е. Р. Чернышенко¹, А. Р. Лицевич¹, А. П. Брагинцева¹, В. В. Седова¹,
В. В. Кан¹, Е. А. Наумова¹, И. С. Алешукина², Т. Н. Ажогина¹*

¹ Южный федеральный университет

*² Ростовский научно-исследовательский
институт микробиологии и паразитологии*

В обзоре представлены результаты оценки устойчивости к антибактериальным препаратам у изолятов микроорганизмов, выделенных из куриного фарша. Определена таксономическая принадлежность и категория чувствительности исследуемых микроорганизмов к антибиотикам.

Ключевые слова: антибиотикорезистентность, АРГ (антибиотикорезистентные гены), АРБ (антибиотикорезистентные бактерии), куриный фарш, антибиотики.

Устойчивость к антибиотикам стремительно растет во всем мире и представляет большую угрозу здоровью человечества. Особо опасно быстрое распространение бактерий с множественной устойчивостью, которые вызывают инфекции, не поддающиеся лечению существующими антибиотиками. Мониторинг чувствительности/устойчивости штаммов в настоящее время является важным элементом медицинской практики. При этом крайне мало внимания уделяется мониторингу антибиотикорезистентности в пищевых продуктах [1].

В связи с вышесказанным, для обнаружения антибиотикорезистентных микроорганизмов был использован один из наиболее популярных продуктов питания – куриный фарш.

Целью работы являлось определение фенотипической и генетической устойчивости изолятов микроорганизмов, выделенных из куриного фарша. Продукт был приобретен на рынке продовольственных товаров г. Ростов-на-Дону.

Для определения фенотипической чувствительности микроорганизмов использовался диско-диффузионный метод [2]. Для выявления АРГ (*TetO3*,

blaKPC, *CTX-M*, *ermB1*, *ermB5*, *vanA*) проводилось выделение тотальной ДНК модифицированным фенол-хлороформным методом, ПЦР и последующая визуализация при помощи электрофореза ампликонов [3]. Для идентификации изолятов был использован метод MALDI-TOF.

В результате проведенного исследования было выделено 8 изолятов, Таксономическая принадлежность была определена у 4 изолятов: *Kocuria rosea*, *Raoultella ornithinolyti* и *Arthrobacter gandavensis* (2 штамма).

Результаты определения фенотипической чувствительности микроорганизмов диско-диффузионным методом показали, что все исследуемые штаммы проявили резистентность к антибиотикам группы макролидов – олеандромицину, эритромицину, азитромицину, тилозину; группы фузидинов – фузидину; группы полипептидов – бацитрацину, ристомицину; группы пенициллинов – бензилпенициллину.

Наименьший процент резистентных культур наблюдался по отношению к ципрофлоксацину и левофлоксацину из группы фторхинолонов, цефазолину и цефтриаксону из группы цефалоспоринов, меропенему из группы меропенемов.

Исследование изолятов с помощью методов ПЦР и электрофореза показало отсутствие генов антибиотикорезистентности к эритромицину из группы макролидов (*ermB1*, *ermB5*), ко всем β-лактамам (пенициллины, цефалоспорины, монобактамы и карбапенемы) (*blaKRC*, *CTX-M*), к ванкомицину из группы гликопептидов (*VanA*), однако все изоляты в разной степени согласно данным, полученным с помощью диско-диффузионного метода, проявили резистентность к данным антибиотикам. Ген антибиотикорезистентности к тетрациклину (*TetO3*) был обнаружен только у одного изолята, однако согласно результатам диско-диффузионного метода 87,5% изолятов резистентны к данному антибиотику. Ген антибиотикорезистентности к аминогликозидам (*aadA2*) был обнаружен у четырех изолятов, однако подавляющее большинство изолятов проявили лишь умеренную устойчивость к данной группе антибиотиков. Фенотипическое проявление устойчивости, но отсутствие исследуемого гена, можно объяснить наличием нескольких разных генов, отвечающих за устойчивость к тому или иному антибиотику. [4]

Результаты проведенного исследования показали, что все 8 изолятов, выделенных из куриного фарша, оказались мультирезистентными, то есть они устойчивы к действию шести и более антибиотиков разных классов [5]. Использование диско-диффузионного метода позволило выявить высокую фенотипическую устойчивость изолятов к антибактериальным препаратам, а проведение ПЦР дало возможность проверить наличие генов антибиотикорезистентности, находящихся в составе генных кассет или под неактивным промотором, которые фенотипически можно не обнаружить.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № 0852-2020-0029.

Библиографический список

1. Антибиотикорезистентность штаммов *Campylobacter jejuni*, выделенных из пищевых продуктов / Н. Р. Ефимочкина, Ю. В. Короткевич, В. В. Стеценко, Т. В. Пичугина, И. Б. Быкова, Ю. М. Маркова, Л. П. Минаева, С. А. Шевелева // Вопр. питания. 2017. Т. 86, № 1. С. 17–27.
2. МУК 4.2.1890-04 «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам».
3. Патент RU 2 696 052 С1. С12N 15/10 Способ выделения ДНК из почвы / М. А. Сазыкина, И. С. Сазыкин, Е. Ю. Селиверстова, Л. Е. Хмелевцова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет». заявка № 2018140149, заявл. 13.11.2018; опубл. 30.07.2019, Бюл. №22 с. 13: табл. 2.
4. Супотницкий М. В. Механизмы развития резистентности к антибиотикам у бактерий // Биопрепараты. 2011. № 2. С. 4–44.
5. Heterogeneity of microbial communities of surface waters on indices of antibiotic resistance of bacteria / E. V. Anganova, E. D. Savilov, M. F. Savchenkov, N. N. Chemezova // Gig Sanit 2014. Vol. 4. P. 19–22.

СОСТАВ ЗАЖОГИНСКОГО ШУНГИТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПАТОГЕННУЮ МИКРОФЛОРУ

С. Ф. Тютиков¹, Л. В. Проскуракова²

¹ ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского РАН, tyutikov-sergey@rambler.ru

² ЧПОУ «Социально-гуманитарный колледж», ludvaspro@yandex.ru

Определены уровни содержания и закономерности перехода из твердой фазы шунгита в водный экстракт фуллерена C₆₀ и редкоземельных элементов. Выявлено влияние препарата шунгита на патогенную бактериальную микрофлору, вирусы и нанобактерии.

Ключевые слова: шунгит, редкоземельные элементы, фуллерены, патогенная микрофлора, нанобактерии, вирусы.

С биогеохимической точки зрения, шунгит может рассматриваться как ископаемое «биокосное тело» и представляет собой интереснейший материал для исследования химического состава живого вещества в отдаленные геологические эпохи [1]. В состав шунгита входят фуллерены, за открытие которых в 1996 году Ричард Смолли, Роберт Керл и Харольд Крото были удостоены Нобелевской премии по химии [2]. Помимо фуллеренов в состав шунгита входит множество химических элементов, относящихся как к жизненно важным, так и к токсичным. Особый интерес для исследования представляет группа редкоземельных элементов (РЗЭ), как наименее изученная с точки зрения их биологических свойств [3]. Исходя из вышеизложенного, была намечена цель исследования – определить химический состав шунгита Зажо-

гинского месторождения и его влияние на патогенную бактериальную микрофлору, вирусы и нанобактерии.

Для исследований использовали природный шунгит в виде щебня, изготовленный в соответствии с ТУ 5714-007-12862296-01 «Дробленые и молотые шунгиты Зажогинского месторождения». Анализ на содержание химических элементов в составе ВЭШ проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Elan DRCII (Perkin-Elmer SCIEX Instruments, USA). В качестве растворителя для экстракции фуллеренов из шунгита использовали бромбензол ос.ч. по ТУ 6-09-3774-74, поскольку в нем C_{60} и C_{70} имеют достаточно высокую растворимость (3,3 мг/мл и 2,8 мг/мл соответственно).

Для проверки воздействия водного экстракта шунгита (ВЭШ) на патогенную микрофлору использовали бактерии *Pasteurella multocida*. Для получения суспензии бактериальных клеток проводили посев бактерий на среду Эндо и бульон по Хоттингеру. Бактериальные препараты для электронной микроскопии наносили на угольно-парлодионовые пленки-подложки. Нанесение препаратов осуществляли методом флотации с последующим контрастированием 4% раствором фосфорно-вольфрамовой кислоты pH 6,8. Собственно электронную микроскопию проводили на электронном микроскопе JEM-100CX (Япония) при инструментальном увеличении 40 000–120 000.

Хроматограммы бромбензола, которым проводили извлечение фуллерена из шунгита в течение двух недель и бромбензольного экстракта из ВЭШ, приведены на рисунке 1. Установлено, что при экстракции бромбензолом из порошкообразного шунгита извлекается 0,008 масс.% фуллерена C_{60} . Фуллерен C_{60} переходит из измельченного шунгита в воду в количестве 0,06 мкг/г, что составляет $6 \cdot 10^{-6}$ масс. %. Фуллерен C_{70} в шунгите не обнаружен. Приведенные хроматограммы позволяют визуально наблюдать преимущества прямой экстракции фуллерена бромбензолом из шунгита, по сравнению с водой. Однако бромбензол является физиологически неприемлемым для использования при работе с живыми биосистемами. Поэтому, исходя из намеченных задач проводимого исследования дальнейшие работы были сосредоточены на изучении свойств именно ВЭШ.

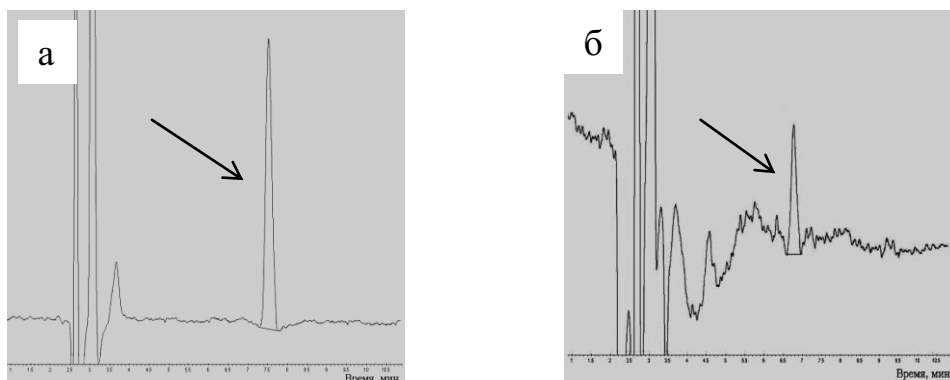


Рис. 1. Хроматограммы бромбензольного экстракта из шунгита (а) и бром-бензольного экстракта из ВЭШ (б). Стрелкой показан пик C_{60}

Интересной особенностью шунгита оказалась неравномерность выхода различных химических элементов в водный экстракт. Установлено, что в процессе экстрагирования отсутствует четкая зависимость между массой шунгита и выходом химических элементов. Для некоторых элементов можно выделить 2 и более пиков наибольшей экстракции. По-видимому, данный эффект связан с гетерогенностью соединений, в составе которых в шунгите находятся разные химические элементы. На рисунке 2 представлены результаты масс-спектрометрического контроля ВЭШ, полученного путем кипячения ультрафильтрата родниковой воды со щебнем шунгита в соотношении 200 г на 1 литр воды. В процессе кипячения проводили последовательно отбор проб через 5, 15 и 30 мин. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о достаточно интенсивном экстрагировании в водную среду РЗЭ из шунгитового щебня.

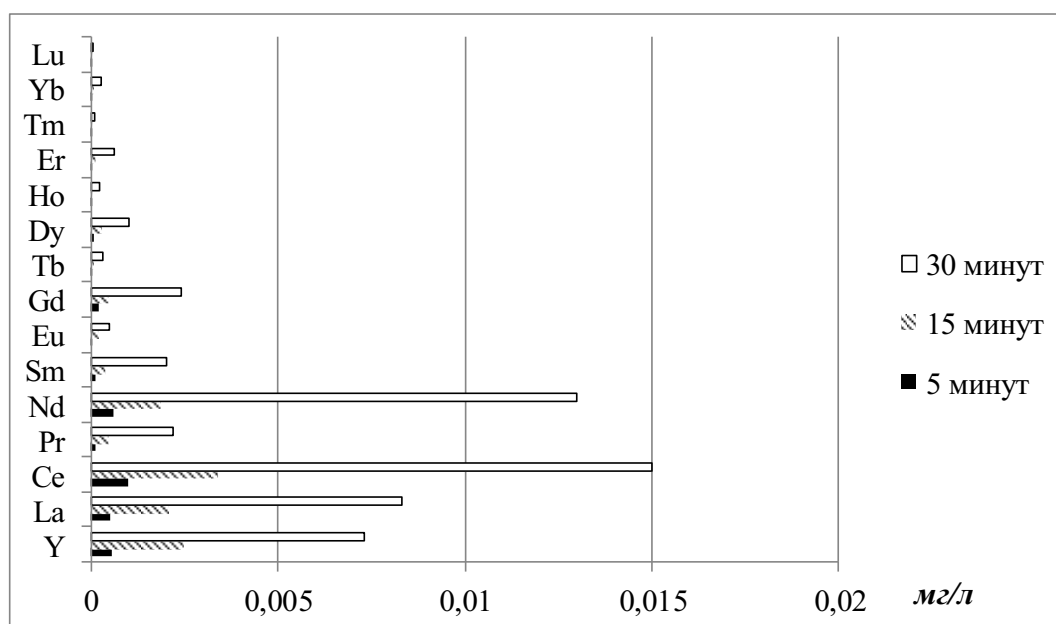


Рис. 2. Экстракция редкоземельных элементов при кипячении ультрафильтрата родниковой воды со щебнем шунгита

На рисунке 3 представлены электронные микрофотографии клеток *P. multocida* из контрольного и опытного образцов. Результаты электронно-микроскопических исследований показали, что морфология интактных бактерий *P. Multocida* – это полиморфные короткие палочки с закругленными концами, у которых отсутствуют жгутики. Помимо эллипсовидных палочек отмечается присутствие клеток по форме близкой к сферической с губчатой поверхностью.

Воздействие ВЭШ на клетки бактерий также сопровождается изменением поверхностной структуры с потерей выраженного негативного контраста – они становятся более прозрачными, их форма явственно отличается от интактных клеток. Бактерии становятся неузнаваемыми по морфологическим признакам: форме и размерам. На микрофотографиях видоизмененные бактериальные клетки просматриваются в смеси со структурами, по-видимому,

полностью разрушенных клеток. Опыты по посеву клеток на питательные среды показали, что клетки *P. multocida* после воздействия ВЭШ показали малый, рассредоточенный рост колоний.

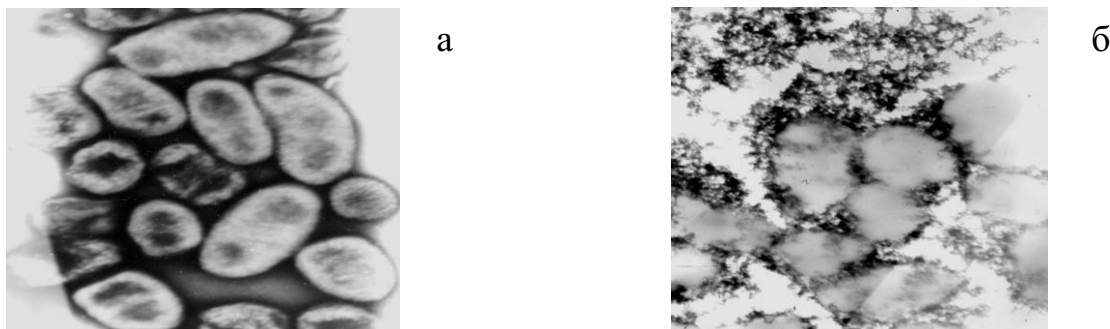


Рис. 3. Морфология бактерий *Pasteurela multocida*: а – контроль в буферном растворе STE; б – экспозиция в ВЭШ (увеличение: 40000)

Вегетативные формы клеток нанобактерий представляют собой палочко- и нитевидные структуры с признаками бинарного деления. Выявляемые структуры при диаметре 40–50 нм имеют длину 100–150 нм (рис. 4). У нитевидных клеток длина может достигать до 1 мкм при диаметре 40–50 нм. Второй разновидностью бесполого размножения клеток нанобактерий является почкование, когда от материнской клетки диаметром 300–500 нм отпочковываются дочерние элементарные тельца диаметром 50–60 нм. При суспендировании в бидистиллированной воде морфология клеток не изменяется по сравнению с буферным раствором. Следствием суспендирования клеток нанобактерий в ВЭШ с экспозицией в течение 24 часов явилось образование различных скоплений от небольших агрегатов до более крупных – агрегатов из большого числа клеток. При этом свободных клеток не остается, практически все они включены в агрегаты. Кроме того, отмечено воздействие на их структуру, обусловленное образованием «пустых» капсул, то есть отмечается разрушение структуры интактных клеток. Наиболее вероятной гипотезой воздействия ВЭШ на клетки нанобактерий является присутствие в ее составе РЗЭ, обладающих способностью к комплексобразованию. Это обусловлено тем, что катионы этих элементов образуют химические связи с отрицательно заряженными фосфатными остатками в составе клеточных мембран и нуклеиновых кислот [4]. Кроме того, нарушение структуры клеток нанобактерий, которые содержат в своем составе до 50% кальция, также возможно связать с действием РЗЭ, обладающих способностью замещать Ca^{+2} , что сопровождается образованием пустых оболочек.

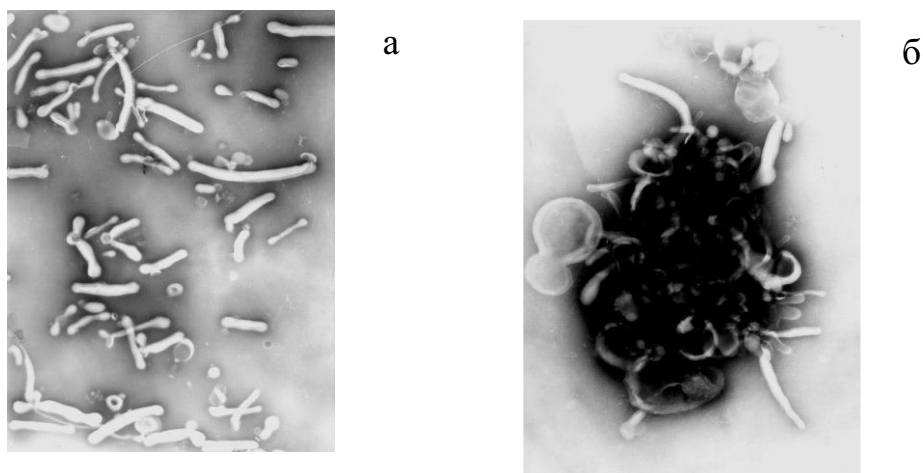


Рис. 4. Клетки нанобактерий: а – суспендированные в бидистиллированной воде, б – агрегированные после экспозиции в ВЭШ (увеличение: 40000)

Оценка воздействия ВЭШ на вирионы вируса ящура осуществлялась по вышеописанной методике, как и с бактериальными клетками. При исследовании контрольных и опытных образцов методом электронной микроскопии было установлено, что под воздействием ВЭШ из вирионов вируса ящура формируются конгломераты (рис. 5). В контрольном препарате вирионы равномерно распределены на поверхности пленки-подложки.

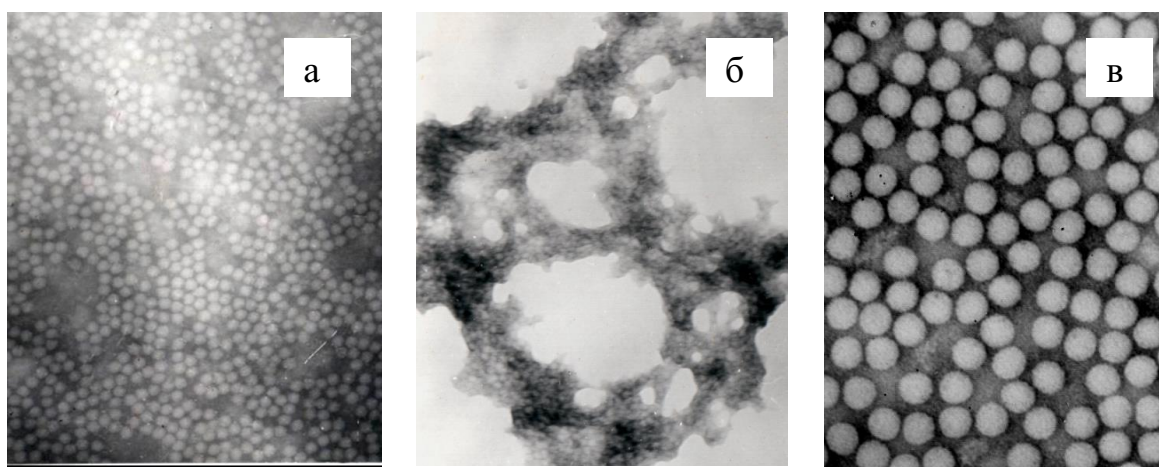


Рис. 5. Вирионы вируса ящура: а – в исходном препарате (увеличение: 90 000); б – в составе агрегатов после экспозиции ВЭШ (увеличение: 70 000); в – после очистки с использованием ВЭШ (увеличение: 120 000)

Таким образом, выполненные исследования позволяют предположить, что основой бактерицидного действия ВЭШ является присутствие в нем РЗЭ, катионы которых эффективно взаимодействуют с противоположно заряженными группировками в структуре бактериальных клеток, нанобактерий и вирусов.

Библиографический список

1. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера/ под ред. А. Л. Яншин. 1994. М. : Наука, 671 с.
2. Buseck P. R., Tsipursky S. J., Hettich R. Fullerenes from the Geological Environment. Science. 1992. Vol. 257. No. 5. P. 215–217.
3. Pol A., Barends T., Dietl A. Rare earth metals are essential for methanotrophic life in volcanic mudpots // *Envir. Microbial.* 2014. Vol. 16. No. 1. P. 255–264.
4. Искандаров М. И. Биологические свойства препаратов на основе редкоземельных элементов // *Ветеринария и кормление.* 2016. № 3. С. 13–15.

ОБНАРУЖЕНИЕ АЭРОМОНАД И КИШЕЧНЫХ ПАЛОЧЕК В ВОДЕ НИЖНЕГО ДОНА

М. А. Морозова^{1,2}, Д. А. Седова^{1,3}

¹ ФБУН «Ростовский НИИ микробиологии и паразитологии»
Роспотребнадзора,

² Донской государственный технический университет, morozova.q@mail.ru

³ Южный федеральный университет, darsedova@srfedu.ru

В статье представлены результаты распространения бактерий р. *Aeromonas* и *E. coli*, а так же видового состава аэромонад в воде Нижнего Дона. Пробы воды были отобраны на территории г. Ростова-на-Дону (4 биотопа) и г. Азова (3 биотопа) в течение одного года. Установлено, что 39% проб не соответствовали нормативным требованиям по содержанию *E. coli*, из которых 31,5 % относились к акватории р. Дон в районе г. Ростова-на-Дону. Таксономический состав бактерий рода *Aeromonas* был представлен 7 видами, из которых 5 признаны возбудителями сапронозов. Кроме того, численность аэромонад была выше в биотопах наиболее загрязненных *E. coli*.

Ключевые слова: качество воды, река Дон, аэромонады, *E. coli*, сапронозы.

Мониторинг бактериальной обсемененности водоемов и значимость выявления свежего фекального загрязнения определяется необходимостью своевременного и эффективного проведения санитарно-эпидемиологических мероприятий [1–4]. В настоящее время при оценке качества воды поверхностных водоемов большое внимание уделяется не только *E. coli*, но и аэромонадам. Известно, что бактерии р. *Aeromonas* вызывают широкий спектр заболеваний у хладнокровных и теплокровных животных, от рыб до человека, с различной степенью тяжести [5]. Большинство заболеваний человека, вызванные аэромонадами, связаны с гастроэнтеритами, а также с инфекциями мягких тканей и ран, при этом наиболее восприимчивы люди с ослабленным иммунитетом. Аэромонадная инфекция регистрируется во многих странах Европы и Азии от 1 до 13% у взрослых и до 50% у детей. В США они являются причиной 13% острых кишечных инфекций [6]. Их связывают со

вспышками заболеваний пищевого происхождения при использовании загрязненной воды, а также изолируют от пациентов с так называемой «диареей путешественников» [7]. Из более чем 30 известных видов аэромонад, болезни человека в основном связаны с тремя видами *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas veronii*, *Aeromonas caviae*, на долю которых приходится 95% всех аэромонадных инфекций, включая цирроз печени и злокачественные новообразования, которые являются двумя хорошо известными предрасполагающими состояниями, связанными с бактериемией *Aeromonas* spp. [8, 9]. Однако в последние годы актуальность обнаружения различных видов аэромонад возросла в связи с усилением их патогенных свойств, из-за которых они представляют потенциальную опасность для человека [10].

Бактерии р. *Aeromonas* имеют много общих биохимических характеристик с энтеробактериями, но их легко можно дифференцировать с помощью оксидазного теста, на который аэромонады положительны.

Распространение аэромонад и *E. coli* в водной среде, их влияние на качество воды и потенциал патогенности, представляют большую опасность для здравоохранения. Исходя из вышеизложенного, целью работы явилась оценка распространения бактерий р. *Aeromonas* и *E. coli* в воде Нижнего Дона на территории городов Ростов-на-Дону и Азов.

Материалом исследования послужили 46 проб воды из р. Дон на территории г. Ростова-на-Дону (4 биотопа) и г. Азова (3 биотопа). Пробы речной воды отбирали в 2021 г. в местах водозаборов, зон рекреации, селитебных территорий, ниже выпусков городских канализаций. Отбор проб осуществлялся согласно требованиям ГОСТ 31942-2012 «Вода. Отбор проб для микробиологического анализа».

Для выделения и количественного учета кишечной палочки и аэромонад использовали жидкую среду накопления по МР № 01-19/98-17 [11], разработанную сотрудниками ФБУН «Ростовский НИИ микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора. При наличии в посевах помутнения и газообразования или только помутнения в среде накопления, осуществляли посев на плотные питательные среды: Эндо, *Aeromonas* Isolation Medium Base, Хай-Хром универсальная среда для дифференциации. Исследование проводилось в соответствии с МУК 4.2.1884-04, 2005 г. [12].

Бактерии р. *Aeromonas* идентифицировали согласно «Определителю бактерий Берджи» [13], международной информационной базе данных «Advanced Bacterial Identification Software» [14]. Видовую идентификацию и таксономическую классификацию аэромонад по биохимической активности выполняли с помощью диагностического набора и тест-системы: НЕФЕРМ-тест 24 (Erba Lachema, Чехия), OXItest (Erba Lachema, Чехия).

Для видовой идентификации выделенных бактерий использовали масс-спектрометрический анализ MALDI-TOF MS (Bruker Daltonics, Германия).

Проведенные санитарно-бактериологические исследования показали, что по наличию *E. coli* не соответствовало требованиям 81% проб воды из р. Дон, отобранных на территории г. Ростова-на-Дону, и 20% проб в г. Азове.

Наибольшее количество нестандартных проб выявлено в районе речного вокзала г. Ростова-на-Дону, ниже устья реки Темерник и ниже выпуска Ростовской городской канализации, а также района рекреации г. Азова (табл.).

Таблица

Санитарно-бактериологическая характеристика воды Нижнего Дона в акватории городов Ростов-на-Дону и Азов, март – ноябрь 2021 г.

Биотоп	Количество проб	
	Всего	Нестандартные пробы
Ростовский городской пляж	4	2
Район речного вокзала	4	3
Ниже устья р. Темерник	4	4
Ниже выпуска Ростовской городской канализации	4	4
Водозабор г. Азова	10	1
Место сброса сточных вод г. Азова	10	1
Место рекреации г. Азова	10	4

Уровень содержания (КОЕ в 100 мл) *E. coli* был самым высоким на территории г. Ростова-на-Дону в мае-июне, особенно в районах городского пляжа – 2400 (май), ниже сброса сточных вод – 70000 (май) и ниже реки Темерник 2400 (июнь). Численность бактерий р. *Aeromonas* на этих участках реки также была высокой, но не более 620 КОЕ/100 мл. Однако максимальное содержание аэромонад регистрировали в сентябре и октябре (2400 КОЕ в 100 мл), когда количество кишечной палочки значительно уменьшилось. Например, в октябре на территории г. Азова количество *E.coli* составило – 620, в месте рекреации – 240, а в районе водозабора – 23 КОЕ/100 мл. Несмотря на разницу в сезонных колебаниях количества аэромонад, их численность была выше в биотопах Нижнего Дона, наиболее загрязненных кишечными палочками. Следует отметить, что 5 видов аэромонад (*A. veronii*, *A. caviae*, *A. jandaei*, *A. hydrophila*, *A. sobria*) из 7 выделенных являются возбудителями сапронозов. Кроме того, изучение ферментов патогенности (ДНК-аза, лецитиназа, липаза, протеаза) и гемолитических свойств у аэромонад, показало в 67% случаев наличие всех перечисленных показателей. Так, доля штаммов с протеазой составила 98%, а с гемолитической активностью – 77,8%. Ферменты лецитиназа и липаза выявлены у 76% штаммов и только в 10% случаев исследуемые показатели патогенности отсутствовали.

Таким образом, существуют риски заболеваний, связанных не только с циркуляцией *E.coli* в воде Нижнего Дона, но и бактериями р. *Aeromonas*. Обнаружение ферментов патогенности и гемолизина у аэромонад увеличивает риск инфицирования или колонизации гидробионтов, животных и человека. В этой ситуации эпидемиологическую значимость приобретает санитарно-бактериологическая оценка поверхностных водоемов, особенно в зонах рекреации, водозабора и сброса сточных вод.

Библиографический список

1. Рахманин Ю. А. Научно-методические основы изучения, оценки и регламентирования биологических факторов в гигиене окружающей среды // Гигиена и санитария. 2010. № 5. С. 4–8.
2. Мониторинг бактериального загрязнения водоемов Ростовской области / П. В. Журавлёв, В. В. Алешня, С. В. Головина, О. П. Панасовец, Е. А. Недачин, Ю. Г. Талаева, Т. З. Артемова, Е. К. Гипп, А. В. Загайнова, Н. Н. Буторина // Гигиена и санитария. 2010. № 5. С. 33–36.
3. Санитарно-бактериологическая характеристика воды Нижнего Дона / П. В. Журавлёв, В. В. Алешня, С. В. Головина, О. П. Панасовец, Г. В. Айдинов, М. М. Швагер, Т. В. Митрофанова, Б. Х. Джансейидов, Г. А. Мартынов, Е. И. Деревякина // Гигиена и санитария. 2012. № 4. С. 28–31.
4. Актуальность гигиенической оценки источников водоснабжения Ростовской области / В. В. Фриева, А. С. Калужин, Е. С. Малыхина, М. А. Кулак // Современные аспекты профилактики заболеваний : материалы III Межрег. с междунар. участием науч.-практ. конф. Самара, 2019. С. 350–353.
5. International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). Microorganisms in Foods 5: Characteristics of Microbial Pathogens. NY. : Springer New York, 1996. 400 p.
6. К вопросу распространения бактерий рода *Aeromonas* в объектах окружающей среды и клиническом материале / Л. В. Катаева, Т. Ф. Степанова, О. В. Посоюзных, В. В. Ташланова, Н. Ф. Карпухина, О. Н. Колотова, Л. А. Бычкова // Здоровье населения и среда обитания. 2018. № 6 (303). С 53–57.
7. Graevenitz A. The role of *Aeromonas* in diarrhea: a review // Infection. 2007. Vol. 35. No. 2. P. 59–64. doi: 10.1007/s15010-007-6243-4
8. Janda J. M., Abbott S. L. The genus *Aeromonas*: taxonomy, pathogenicity, and infection // Clinical Microbiology Reviews. 2010. Vol. 23. P. 35–73. doi: 10.1128/CMR.00039-09
9. Ko W. C., Chuang Y. C. *Aeromonas* bacteremia: review of 59 episodes // Clinical Infectious Diseases. 2010. Vol. 20. P. 1298–1304. doi: 10.1155/2011/930826
10. Kivanc M., Yilmaz M., Demir F. The occurrence of *Aeromonas* in drinking water, tap water and the Porsuk River // Brazilian Journal of Microbiology. 2011. Т. 42. P. 126–131. doi: 10.1590/S1517-83822011000100016
11. МР 01-19/98-17 «Усовершенствованный метод обнаружения энтеробактерий и неферментирующих грамотрицательных микро-организмов в объектах водной среды». Ростов н/Д. : Ростовский НИИМП, 1996. 8 с.
12. МУК 4.2.1884-04 «Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов». М. : ФГУП «Стандартинформ», 2000. 92 с.
13. Определитель бактерий Берджи в 2 томах / Дж. Хоулт, Н. Криг, П. Снит, Дж. Стейли, С. Уилльямс. М. : Мир, 1997. 1250 с.
14. ABIS online Encyclopedia [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tgw1916.net/index.html>. (дата обращения: 20.03.2022).

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКИ АКТИВНОГО БАКТЕРИОПЛАНКТОНА НА УЧАСТКАХ РЕКИ МОСКВЫ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

*А. Ю. Акулова, И. В. Мошарова, К. П. Хазанова, Л. И. Голдобина
Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
akulova@mail.bio.msu.ru*

В статье представлены особенности динамики численности бактериопланктона, и, в частности, его активной фракции, в прибрежных водах реки Москвы, различающихся по уровню антропогенного воздействия. За период исследований с марта по декабрь 2021 г. наиболее высокие значения численности активно метаболизирующих бактерий (АкБ) были приурочены к загрязненному участку реки, расположенному ниже выпусков Курьяновских очистных сооружений (КОС). Выявлены корреляционные связи численности АкБ с некоторыми гидрохимическими и гидробиологическими показателями.

Ключевые слова: бактериопланктон, общая численность, активно метаболизирующие бактерии, флуорохром ЦТХ, река Москва, очистные сооружения.

Экологическое благополучие мегаполисов в значительной степени зависит от состояния городских водных объектов. Река Москва представляет собой яркий пример водотока, испытывающего на себе все многообразие антропогенных воздействий [1]. Значительное влияние на ее экологическое состояние оказывает сброс недостаточно очищенных сточных вод из Курьяновских очистных сооружений (КОС), в результате которого сформировалась особая зона реки с повышенной температурой воды, не замерзающая в зимний период, а также с более высоким содержанием аммония, азота и фосфора. Такие условия среды могут вызывать серьезные изменения в структуре и функционировании речных биоценозов [2].

Бактерии, гетеротрофный нано- и микропланктон, формирующие «микробную петлю», являются важнейшим компонентом планктонного сообщества, обеспечивающим реминерализацию органического вещества [3]. Кроме того, именно микроорганизмам принадлежит ведущая роль в процессах естественного очищения водных экосистем, так как они способны полностью разрушать или трансформировать большинство известных загрязняющих веществ антропогенного происхождения, таких, как нефтяные углеводороды, полихлорированные бифенилы и др. Основная нагрузка по деградации привнесенных в водную среду органических веществ ложится на бактериальные клетки с активным метаболизмом. К настоящему времени получены многочисленные свидетельства того, что лишь небольшая доля (от 3 до 65%) микроорганизмов в составе природных бактериоценозов является активно функционирующей [4].

Отбор проб воды проводили в прибрежных водах реки Москвы в период с 15 марта по 20 декабря 2021 г. Первая станция была выбрана на участке до впусков Курьяновских очистных сооружений, вторая – сразу после их впусков, а третья – через несколько километров ниже КОС по течению реки, в районе Братеево. Микробиологические параметры определяли методом эпифлуоресцентной микроскопии. Общую численность бактериопланктона учитывали с применением флуорохрома акридинового оранжевого [5], а численность бактериальных клеток с активным метаболизмом (АкБ) – с применением флуорохрома 5-циано-2,3-дитолил тетразолиум хлорида, или ЦТХ [6]. Определение концентрации пигментов фитопланктона (общего содержания хлорофилла «а» и отдельно его концентрации для фракции пикопланктона) проводили флуорометрическим методом [7] на флуориметре МЕГА-25. Определение гидрохимических показателей реки Москвы были выполнены по стандартным методикам измерений (ПНД Ф 14.1:2:4.262-10; РД 25.24.381-2006; ПНД Ф 14.1:2:4.4-95; ПНД Ф 14.1:2:4.112-97).

За период исследований наиболее высокие значения численности АкБ достигали 1,38–2,32 млн кл./мл и были приурочены к загрязненному участку реки, расположенному ниже впусков КОС. Выше по течению, до стоков очистных сооружений, численность АкБ не превышала 1 млн кл./мл во все сроки наблюдений. Средние показатели численности АкБ здесь оказались в 1,6 раза ниже (0,51 млн кл./мл против 0,80 после КОС). Наиболее высокие значения численности метаболически активных бактерий в водах всех трех станций были отмечены в июне – июле, а также в конце сентября и декабре (рис.).

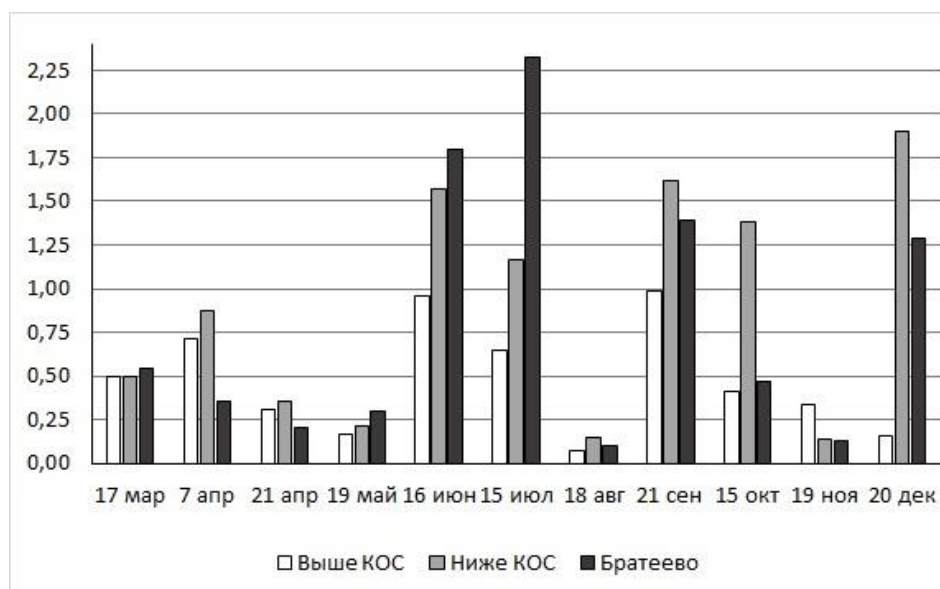


Рис. Численность активно метаболизирующих бактерий

Сезонная динамика АкБ, по всей видимости, довольно тесно связана с динамикой фитопланктона и обогащением вод легко окисляемым органическим веществом. Была обнаружена положительная корреляционная связь между численностью активных бактерий и общим содержанием хлорофилла

«а» в воде ($r=0,44$, $p \leq 0,05$), а также и отдельно с содержанием хлорофилла мелкой фракции (пикопланктона) – 0,63 при $p \leq 0,05$. Стоит отметить, что сами показатели содержания хлорофилла «а» хорошо коррелировали с температурой воды ($r=0,65$, $p \leq 0,05$).

Существенное влияние на бактериальный метаболизм оказывали изменения содержания биогенных веществ в водах реки Москвы. По всему массиву данных для всех трех станций вместе была показана положительная зависимость численности АКБ от некоторых гидрохимических показателей, таких как: концентрации ионов аммония NH_4^+ ($r=0,44$, $p \leq 0,05$), нитритов NO_2^- ($r=0,34$ при $p \leq 0,05$) и содержания фосфатов PO_4^{3-} ($r=0,4$, при $p \leq 0,05$).

Наиболее высокая доля активных бактериальных клеток от общей численности бактериопланктона была определена в водах станции, расположенной в отдалении от КОС, на 6 км ниже по течению реки (в Братеево), где их среднее значение составило 26,8% (при варьировании от 3 до 70%). В водах станций выше и напротив КОС средние значения этого параметра составили 23,0 и 24,8% соответственно. Была выявлена значимая корреляционная связь общей численности бактерий и численности метаболически активных клеток ($r=0,34$ при $p \leq 0,05$). В свою очередь, изменения общего содержания бактериопланктона в значительной степени зависели от температуры воды ($r=0,67$ при $p \leq 0,05$).

Таким образом, по результатам наших наблюдений, в водах реки Москвы после выпусков Курьяновских очистных сооружений значительно возрастают тепловая и биогенная нагрузки, и, следовательно, складываются наиболее благоприятные условия для активного функционирования бактериальных клеток. Численность метаболически активных бактерий является чувствительным показателем состояния бактериоценоза, чутко реагирующим на изменения других параметров водной среды (температура воды, загрязнение биогенами), что позволяет рекомендовать этот показатель для комплексных мониторинговых исследований водных экосистем.

Библиографический список

1. Щеголькова Н.М. Динамика экологического состояния основного водотока мегаполиса : дис. ... д-ра биол. наук. М., 2007. 325 с.
2. Экологический мониторинг вод Москвы-реки в столичном мегаполисе / И. М. Яшин, И. И. Васенев, И. В. Гареева, В. А. Черников // Известия ТСХА. 2015. Вып. 5. С. 8–25.
3. Fenchel T. The microbial loop–25 years later // *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2008. Т. 366. № 1–2. С. 9–103.
4. Dufour P., Torretton J. P., Colon M. Advantages of distinguishing the active fraction in bacterioplankton assemblages: some examples // *Hydrobiologia*. 1990. Vol. 207. P. 295–301.
5. Porter K. G., Feig Y. S. The use DAPI for identifying and counting of aquatic microflora // *Limnol. Oceanogr.* 1980. Vol. 25. № 5. P. 943–948.
6. Hauer F. R., Lamberti G. A. *Methods in Stream Ecology* / Eds. Elsevier. 2006.
7. Holm-Hansen O., Riemann B. Chlorophyll a determination: improvements in methodology // *Oikos*. 1978. С. 438–447.

ПОИСК РОДОККОКОВ ДЕСТРУКТОРОВ КАРБЕНДАЗИМА БИОСЕНСОРНЫМ МЕТОДОМ

Т. Н. Кувичкина, Е. Н. Капаруллина, Н. В. Доронина, А. Н. Решетилов
ФГБУН «Федеральный исследовательский центр
«Пушкинский научный центр биологических исследований
Российской академии наук»
обособленное подразделение Институт биохимии и физиологии
микроорганизмов им. Г. К. Скрыбина РАН, kuv@ibpm.pushchino.ru

Поиск микробов – деструкторов карбендазима среди восьми родококков проводили, используя биосенсорный амперометрический метод. Показано, что актинобактерии *Rhodococcus qingshengii* GL Mm1 обладали наибольшей способностью деградировать карбендазим.

Ключевые слова: фунгицид карбендазим, *Rhodococcus* амперометрический биосенсор

Карбендазим (метил-1Н-бензимидазол-2-ил карбамат) – системный фунгицид, который имеет широкое применение для борьбы с грибковыми заболеваниями в сельском хозяйстве, лесном хозяйстве и ветеринарии [1]. Многократное и обширное применение карбендазима вызывает токсическое воздействие на человека, беспозвоночных и почвенные микроорганизмы. Карбендазим является одним из загрязнителей, обнаруживаемых в продуктах питания, почве и воде. Показано, что ряд штаммов родококков, а именно *Rhodococcus erythropolis* CB11 [2], *Rhodococcus erythropolis* djl-11 [3], *Rhodococcus jialingiae* djl-6-2 [4, 5], *Rhodococcus qingshengii* djl-6 [6, 7] и *Rhodococcus* sp. [8, 9] деградируют карбендазим. Это свойство микроорганизмов может быть использовано для биоремедиации почвы. Поэтому поиск микроорганизмов – деструкторов карбендазима представляет собой важную задачу. Существуют методы определения карбендазима: спектроскопические, хроматографические, вольтамперометрические и масс-спектрометрические [10]. Эти методы требуют дорогостоящего оборудования и обученного персонала. Нами предложен альтернативный подход. Аэробные микроорганизмы (в частности, родококки) обладают ферментными системами способными окислять низкомолекулярные органические субстраты (в частности, карбендазим) растворимые в воде с потреблением молекулярного кислорода. Подход, используемый нами, основан на регистрации потребленного кислорода иммобилизованными клетками микроорганизмов, окисляющими субстрат. Показана возможность использования биосенсорного амперометрического подхода для определения карбендазима, при котором рецепторный элемент был сформирован на основе актинобактерий *Rhodococcus qingshengii* GL Mm1 в качестве биологического распознающего элемента (биохимического рецептора) [11].

Цель работы состояла в поиске микробов - деструкторов карбендазима среди восьми штаммов родококков биосенсорным амперометрическим методом.

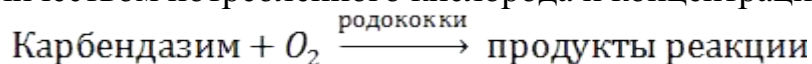
Объекты исследования. В работе использовали актинобактерии, находящиеся в коллекции лаборатории изотопов ИБФМ им. Г.К. Скрыбина РАН: *Rhodococcus erythropolis* S 67, *Rhodococcus imtechensis* IEGM 940^T, *Rhodococcus qingshengii* GL Mm 1, выделенные из образца глины Мёртвого моря, *Rhodococcus koreensis* 962^T, *Rhodococcus opacus* IEGM 716^T, *Rhodococcus ruber*, *Rhodococcus wratisloviensis* ВКМ Ас-2782 (Az Mo), выделенные из Азовского моря, *Rhodococcus wratisloviensis* IEGM 1112^T.

Условия культивирования. Культуры выращивали на агаризованной среде ГКА (10 г глюкозы, 18 г агара, 300 мл картофельного настоя, 700 мл дистиллированной воды) в течение 2–5 суток при температуре 28 °С. Выросшую биомассу смывали 50 мМ калий-фосфатным буфером, рН 7,1. Далее биомассу отделяли центрифугированием при 10 000 g в течение 3 мин.

Иммобилизация клеток. При иммобилизации клеток применяли метод физической адсорбции. Для этого клеточную суспензию, содержащую 10 мкл 50 мМ калий-фосфатного буфера (рН 7,1) с 2 мг сырой биомассы, наносили на полоску носителя (хроматографическая стеклобумага Whatman GF/A, Великобритания). Биорецептор с иммобилизованными клетками (ИмК) фиксировали на измерительной поверхности кислородного электрода типа Кларка («Кронас», Россия) с помощью нейлоновой сетки.

Условия измерений. Измерения проводили в открытой кювете объемом 2 мл в 50 мМ калий-фосфатном буфере (рН 7,1), насыщенном кислородом, при комнатной температуре. Для регистрации сигналов электрода использовался потенциостат IPC-Micro («Кронас», Россия). При введении субстрата (100 мкл) регистрируемым параметром являлась максимальная скорость изменения выходного сигнала dI/dt (нА/с), связанная пропорциональной зависимостью со скоростью изменения концентрации потребленного кислорода (ответ биосенсора). Для обработки полученных результатов использовали компьютерную программу для нелинейной регрессии (Sigma Plot 10). Растворы карбендазима готовили в 0,01 М соляной кислоте.

В условиях эксперимента использовали нерастущие культуры родококков, для которых следует ожидать стабильные стехиометрические соотношения между количеством потребленного кислорода и концентрацией субстрата.



Кроме исследования реакции родококков при добавлении карбендазима, проверяли также реакцию исследуемых культур при введении таких субстратов как глюкоза, метанол и этанол. Последние три субстрата использовали для выяснения реакции культуры на самые распространенные субстраты, кроме экзотического карбендазима. Полученные данные представлены в таблице.

Ответы биосенсоров на введенные субстраты ($\text{нА/с} \cdot 10^{-3}$)

N п/п	Название родококков	Карбендазим, 128 мкМ	Глюкоза, 25 мМ	Метанол, 10 мМ,	Этанол, 10 мМ,
1.	<i>Rh. erythropolis</i> S 67	Нет ответа	Нет ответа	Нет ответа	Нет ответа
2.	<i>Rh. imtechensis</i> IEGM 940 ^T	Нет ответа	Нет ответа	Нет ответа	Нет ответа
3.	<i>Rh. qingshengii</i> GLMm 1	33,0	18,0	9,2	8,2
4.	<i>Rh. koreensis</i> IEGM 962 ^T	Нет ответа.	5,2	1,3	5,1
5.	<i>Rh. opacus</i> IEGM 716 ^T	Нет ответа	3,2	15,0	15,4
6.	<i>Rh. ruber</i>	5,2	7,2	3,7	13,5
7.	<i>Rh. wratisloviensis</i> ВКМ Ac-2782 (Az Mo)	1,0	7,8	57,7	88,0
8.	<i>Rh. wratisloviensis</i> IEGM 1112 ^T	2,8	27,5	3,5	6,8

Как видно из таблицы, что при введении карбендазима наибольшее значение ответа наблюдали для биосенсора на основе *Rhodococcus qingshengii* GL Mm 1. На рисунке представлена градуировочная зависимость ответов биосенсора на основе ИмК *Rhodococcus qingshengii* Gl Mm 1 от концентрации карбендазима [12]. На вставке дан вид ответа этого биосенсора.

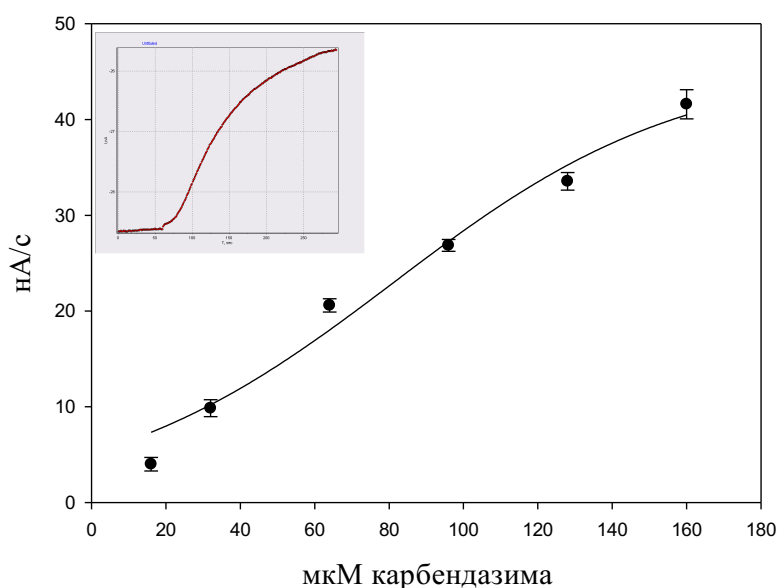


Рис. Градуировочная зависимость ответов биосенсора на основе ИмК *Rhodococcus qingshengii* Gl Mm 1 от концентрации карбендазима [11].

На вставке вид ответа биосенсора

Небольшие значения ответа при введении карбендазима были у биосенсоров на основе трех штаммов актинобактерий *Rhodococcus wratisloviensis* ВКМ Ac-2782 (Az Mo), *Rhodococcus wratisloviensis* IEGM 1112^T, *Rhodococcus ruber*. У биосенсоров на основе четырех штаммов *Rhodococcus erythropolis* S 67, *Rhodococcus opacus* IEGM 716^T, *Rhodococcus imtechensis* IEGM 940^T и *Rhodococcus koreensis* IEGM 962^T не наблюдался ответ при введении карбендазима. Хотя два из них, *Rhodococcus wratisloviensis* IEGM 1112^T и *Rhodo-*

coccus oracus IEGM 716^T, давали ответы на такие субстраты как глюкоза, метанол и этанол.

Таким образом, показано, что биосенсорный амперометрический метод может быть пригоден для поиска микроорганизмов, деградирующих фунгицид карбендазим. Преимуществом метода является использование малого количества биомассы (несколько мг). Показано, что биосенсор на основе актинобактерий *Rhodococcus qingshengii* GL Mm1 обладает наибольшей способностью деградировать карбендазим.

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. Holtman M. A., Kobayashi D. Y. Identification of *Rhodococcus erythropolis* isolates capable of degrading the fungicide carbendazim // *Appl Microbiol Biotechnol*. 1997. Vol. 47. P. 578–582. doi: 10.1007/s002530050976
3. Isolation and characterization of carbendazim-degrading *Rhodococcus erythropolis* djl-11 / X. Zhang, Y. Huang, P. R. Harvey, H. Li, Y. Ren // *PLoS One* 8. 2013. P. 1–6. doi: 10.1371/journal.pone.0074810
4. *Rhodococcus jialingiae* sp. nov., an actinobacterium isolated from sludge of a carbendazim wastewater treatment facility / Z. Wang, J. Xu, Y. Li, K. Wang, Y. Wang, Q. Hong, W. J. Li, S. P. Li // *Int J Syst Evol Microbiol*. 2010a. Vol. 60. P. 378–381. doi: 10.1099/ijs.0.013219-0
5. Biodegradation of carbendazim by a novel actinobacterium *Rhodococcus jialingiae* djl-6-2 / Z. Wang, Y. Wang, F. Gong, J. Zhang, Q. Hong, S. Li // *Chemosphere*. 2010b. Vol. 81. P. 639–644. doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.08.040
6. The isolation identification and degradation characters of an efficient carbendazim-degrading bacterium / J. L. Xu, Z. C. Wang, K. Wang, S. P. Li // *China Environ Sci*. 2006. Vol. 26. № 3. P. 307–310.
7. *Rhodococcus qingshengii* sp. nov., a carbendazim-degrading bacterium / J. L. Xu, J. He, Z. C. Wang, K. Wang, W. J. Li, S. K. Tang, S. P. Li // *Int J Syst Evol Microbiol*. 2007. Vol. 57. P. 2754–2757. doi: 10.1099/ijs.0.65095-0
8. Isolation and characterization of a carbendazim-degrading *Rhodococcus* sp. djl-6 / X. Jing-Liang, G. Xiang-Yang, S. Biao, W. Zhi-Chun, W. Kun, L. Shun-Peng // *Curr Microbiol*. 2006. Vol. 53. P. 72–76. doi: 10.1007/s00284-005-0474-3
9. Bioremediation of Cd and carbendazim co-contaminated soil by Cd-hyperaccumulator *Sedum alfredii* associated with carbendazim-degrading bacterial strains / W. Xiao, H. Wang, T. Li, Z. Zhu, J. Zhang, Z. He, X. Yang // *Environ Sci Pollut Res*. 2013. Vol. 20. P. 380–389. doi: 10.1007/s11356-012-0902-4
10. Toxicity, monitoring and biodegradation of the fungicide carbendazim / S. Singh, N. Singh, V. Kumar, S. Datta, A. B. Wani, D. Singh, K. Singh, J. Singh // *Environ Chem Lett*. 2016. Vol. 14. P. 317–329. doi: 10.1007/s10311-016-0566-2
11. Актинобактерии *Rhodococcus qingshengii* GL Mm1 как основа для определения фунгицида карбендазима биосенсорным методом / Т. Н. Кувичкина, Е. Н. Капаруллина, Н. В. Доронина, А. Н. Решетиллов // *Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы ХУІ Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 2. Киров, 2021. С. 9–13.*

ВЛИЯНИЕ ГЛИФОСАТА НА ОБРАЗОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ БИОПЛЕНОК

Е. А. Наумова, А. В. Гильдебрант, И. С. Сазыкин, М. А. Сазыкина
Южный федеральный университет,
enaumova2000@sfedu.ru, siniamida@gmail.com, issa@sfedu.ru,
samara@sfedu.ru

В статье представлены результаты оценки влияния глифосата на биомассу бактериальной биопленки, уровень ее метаболической активности и изменение числа живых клеток. Показано, что глифосат оказывает негативное влияние на образование бактериальных биопленок.

Ключевые слова: глифосат, биопленка, токсичность, *Escherichia coli*.

Глифосат – широко используемый фосфоорганический пестицид, который применяется в качестве неселективного системного гербицида широкого спектра действия для борьбы с широколиственными сорняками и в качестве регулятора роста растений, используемых для газонов, приусадебных участков, парков и сельскохозяйственных культур [1]. Из-за его высокой растворимости в воде и подвижности, он вымывается в почву, загрязняет грунтовые воды и накапливается в растениях, в результате чего становится затруднительным устранение гербицидов. Лишь несколько процентов от всего количества используемого пестицида служат поставленной цели, в то время как остальные попадают в окружающую среду, из-за чего снижается урожайность сельскохозяйственных культур, качество продукции, плодородие почв [2]. Из-за употребления людьми в пищу продуктов питания, в которые попадает глифосат, он обнаруживается в биологических жидкостях человека. Активно ведутся споры о его опасности и влиянии на здоровье людей [3]. Проблема влияния данного гербицида на живые организмы является актуальной и мало изученной. В связи с этим целью работы стало изучение влияния глифосата на биомассу образующейся бактериальной биопленки, уровень ее метаболической активности и количество живых клеток.

Объектом исследования служил штамм *E.coli CDC F-50* из коллекции лаборатории экологии и молекулярной биологии микроорганизмов Академии биологии и биотехнологии Южного федерального университета.

Для количественного анализа биомассы, биопленки окрашивали кристаллическим фиолетовым (crystal violet - CV). Для определения метаболической активности применялся метод ХТТ-редуктазной пробы, а для анализа количества жизнеспособных клеток использовался метод окрашивания флуоресцеин диацетатом (ФДА). Статистический анализ проводился с использованием программы MS EXCEL.

Данные, полученные в результате окрашивания сообщества микроорганизмов кристаллическим фиолетовым, представлены в таблице. Из представ-

ленных результатов видно, что пестицид в концентрациях 6,7 и 67 мкг/мл оказал ингибирующее действие на формирование общей биомассы (63,4 и 30,7% от контроля, соответственно). Значения оптической плотности для концентраций глифосата 670 мкг/мл и 6700 мкг/мл находятся на уровне отрицательного контроля (стерильная питательная среда), что свидетельствует о полном подавлении образования биопленки *E.coli* CDC F-50.

Результаты ХТТ-редуктазного метода, представленные в таблице, показывают, что метаболическая активность *E.coli* CDC F-50 снижается до нулевых значений в концентрации 670 мкг/мл (0%) и 6700 мкг/мл (0%). В концентрации 67 мкг/мл значения резко возрастают (223,7%). Усиление метаболизма может выступать в роли защитного механизма бактериальных клеток от негативного воздействия глифосата, и, вероятно, может быть связано с работой эффлюкс-насосов. Данные для концентрации 6,7 мкг/мл статистически не отличаются от контроля.

Данные о количестве живых клеток в биопленке *E.coli* CDC F-50 представлены в таблице. Из полученных данных видно, что изучаемый гербицид снижает число живых клеток в концентрациях 670 мкг/мл (77,6%) и 6700 мкг/мл (75,7%). В случае концентраций глифосата 6,7 и 67 мкг/мл, данные, относящиеся к концентрациям 6,7 мкг/мл и 67 мкг/мл, достоверно не отличаются от контрольных значений.

Таблица

**Ответные реакции в биопленке штамма *E. coli* CDC F-50
в присутствии различных концентраций глифосата**

Концентрация глифосата	% от контрольных значений		
	Общая биомасса биопленки	Уровень метаболической активности	Количество живых клеток в биопленке
6,7 мкг/мл	63,4%	81,6%	90,6%
67 мкг/мл	30,7%	223,7%	94,8%
670 мкг/мл	0%	0%	77,6%
6700 мкг/мл	0%	0%	75,7%

Таким образом, концентрации глифосата 6700 мкг/мл, 670 мкг/мл полностью подавляют образование биопленки *E. coli* CDC F-50 и метаболическую активность бактериальных клеток. Данные концентрации также снижают количество живых клеток. Концентрации 6,7 и 67 мкг/мл частично подавляют образование бактериальной биопленки, но достоверно не влияют на количество живых клеток *E. coli*. Концентрация 67 мкг/мл стимулирует метаболическую активность в биопленке *E. coli* CDC F-50, что, вероятно, свидетельствует об активизации защитных механизмов бактериальных клеток в присутствии глифосата.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № 0852-2020-0029.

Библиографический список

1. Improvements in the analytical methodology for the residue determination of the herbicide glyphosate in soils by liquid chromatography coupled to mass spectrometry / A. M. Botero-Coy, M. Ibanez, J. V. Sancho, F. Hernandez. // J. Chromatogr. 2013. Vol. 1292. P. 132. doi: 10.1016/j.chroma.2012.12.007
2. Herbicide Glyphosate: Toxicity and Microbial Degradation / S. Singh, V. Kumar, J. P. K. Gill, S. Datta, S. Singh, V. Dhaka, D. Kapoor, A. B. Wani, D. S. Dhanjal, M. Kumar, S. L. Harikumar, J. Singh // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. Vol. 17 No. 7519 P. 1. doi: 10.3390 / ijerph17207519
3. Munoz J. P., Bleak T. C., Calaf G. M. Glyphosate and the key characteristics of an endocrine disruptor: A review // Journal Pre-proof. 2020. P. 2. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128619

ОЦЕНКА ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ БАКТЕРИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТИБИОТИКОВ

А. Е. Полинченко, Т. Н. Ажогина, И. С. Сазыкин, А. А. Плотников
Южный федеральный университет, polini4enko@gmail.com

В данной работе было рассмотрено перекисное окисление липидов в клетках бактерий на примере штаммов *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas putida* и *Rhodococcus erythropolis* под влиянием антибиотиков разных классов и механизмов действия (тетрацилин, рифампицин, ампициллин, азитромицин и цефтриаксон) и с разным временем инкубации (3 и 6 часов). В результате проведенного исследования была выявлена зависимость между временем инкубации и уровнем перекисного окисления, а также снижение уровня перекисного окисления в присутствии антибиотиков.

Ключевые слова: *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas putida*, *Rhodococcus erythropolis*, окислительный стресс, ПОЛ, МДА, антибиотики.

Кислород – основа большинства биохимических процессов на Земле. Именно за счет кислорода в митохондриях клеток аэробных организмов происходит окисление органических соединений и преобразование освобождающейся при распаде энергии в энергию АТФ. В то же время окислительная среда опасна из-за существования активных форм кислорода – короткоживущих реакционных форм кислорода, которые способны превращаться друг в друга [1].

Активные формы кислорода (АФК) – супероксид, перекись водорода и гидроксильные радикалы – непрерывно вырабатываются и выводятся живыми организмами, таким образом АФК поддерживается на определенных устойчивых уровнях. Окислительный стресс является следствием нарушения баланса между процессами образования активных форм кислорода (АФК) и системами антиоксидантной защиты [2, 3]. В определенных случаях молекулярный кислород забирает электроны у окислительно-восстановительных ферментов, образуя избыток внутриклеточного супероксида и перекиси водорода. Как следствие, нарушается активность ферментов клетки и целостность

ДНК, белков и липидов бактериальной клетки [4]. Таким образом, чтобы выжить в кислородной среде, бактерии должны постоянно регулировать свои физиологические процессы, чтобы извлечь максимальную пользу из процесса дыхания, сдерживая при этом окислительный стресс.

Одним из механизмов окислительного стресса является перекисное окисление липидов (ПОЛ). Кислород имеет два неспаренных электрона на внешнем энергетическом уровне, поэтому способен к активному взаимодействию с органическими радикалами с неспаренным электроном, в том числе и с липидами [5, 6]. ПОЛ главным образом протекает в билипидном слое клеточной мембраны. Под действием свободных радикалов происходит цепь окислительных реакций, в которых молекулы липида окисляются до перекиси липида [7]. Цель проведенного исследования заключается в оценке влияния антибиотиков на перекисное окисление липидов в клетках бактерий.

В данной работе было рассмотрено перекисное окисление липидов в клетках бактерий на примере штаммов *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas putida* и *Rhodococcus erythropolis*. При выращивании бактерий в питательной среде LB антибиотики добавляли через 3 и 6 часов после начала инкубации. В ходе исследования было оценено влияние антибиотиков разных классов и различных механизмов действия (тетрациклин, рифампицин, ампициллин, азитромицин и цефтриаксон) на такой параметр окислительного стресса, как концентрация малонового диальдегида (МДА). В условиях высокой температуры и кислой среды вторичный молекулярный продукт ПОЛ-МДА (НОС-СН₂-СОН) взаимодействует с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) с образованием триметинового комплекса, окрашенного в характерный розовый цвет. По интенсивности окраски можно судить о количестве МДА.

Уровень ПОЛ в опытных пробах с антибиотиками меньше контрольной пробы в большинстве случаев (табл.).

Таблица

**Повреждение липидов бактерий в присутствии антибиотиков
(МДА, нМ/мл)**

Антибиотик	Время инкубации, ч	<i>A. calcoaceticus</i>	<i>P. putida</i>	<i>R. erythropolis</i>
Контроль		34,08	54,36	30,93
Тетрациклин	3	22,84	46,32	65,70
	6	5,90	17,96	15,03
Рифампицин	3	53,02	52,28	25,76
	6	12,84	14,16	8,62
Ампициллин	3	51,92	38,37	26,12
	6	21,48	26,50	25,33
Азитромицин	3	10,94	30,72	68,95
	6	12,84	23,26	39,57
Цефтриаксон	3	17,60	26,73	8,93
	6	23,93	8,89	23,14

У *A. calcoaceticus* уровень ПОЛ в присутствии ампициллина (6 ч), тетрациклина (3 ч) и цефтриаксона (6 ч) в 1,5 раза меньше контрольной пробы; в

присутствии цефтриаксона (3 ч) – в 2 раза меньше; рифампицина (6 ч), азитромицина (3 ч и 6 ч) – в 3 раза меньше; тетрациклина (6 ч) – в 6 раз меньше. У *P. putida* в присутствии каждого из использованных антибиотиков уровень ПОЛ меньше контрольной пробы. Это может быть связано с высокой устойчивостью *P. putida* к окислительному стрессу [8]. У *R. rythropolis* уровень ПОЛ в присутствии ампициллина (3 ч и 6 ч), рифампицина (3 ч) и цефтриаксона (6 ч) в 1,2 раза меньше контрольной пробы, а в присутствии рифампицина (6 ч) и цефтриаксона (3 ч) – в 4 раза. В остальных же случаях показатели ПОЛ были выше контрольных. Наибольший уровень перекисного окисления липидов, и, как следствие, окислительный стресс отмечены при воздействии рифампицина и ампициллина для *A. calcoaceticus*, тетрациклина и азитромицина для *R. erythropolis*: их показатели в 1,5–2 раза превышают контроль. У большинства антибиотиков (исключение – цефтриаксон *R. erythropolis*) заметна тенденция уменьшения ПОЛ в условиях ОС после 6 часов инкубации с антибиотиками по сравнению с 3 часами инкубации (табл.).

Перекисное окисление липидов происходит с участием остатков полиненасыщенных жирных кислот, которых, относительно других живых организмов, у бактерий мало [9]. В условиях окислительного стресса в клетке индуцируется антиоксидантная защита [10, 11], что может являться следствием снижения уровня ПОЛ в присутствии антибиотиков относительно контроля. Уменьшение ПОЛ вследствие увеличения времени инкубации бактерий с антибиотиками может быть связано с усилением работы антиоксидантной системы в клетках.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № 0852-2020-0029.

Библиографический список

1. Куликова Н. А. Влияние антибиотиков на формирование окислительного стресса у бактерий // Международный студенческий научный вестник. 2017. № 4–5.
2. Finaud J., Lac G., Filaire E. Oxidative stress // Sports medicine. 2006. Т. 36. № 4. С. 327–358.
3. Kohen R., Nyska A. Toxicologic Pathology Oxidation of Biological Systems: Oxidative Stress Phenomena // Toxicologic Pathology. 2002. Т. 30. No. 6. С. 620–650. doi: 10.1080/01926230290166724
4. Пескин А. В. Взаимодействие активного кислорода с ДНК // Биохимия. 1997. Т. 62, № 12. С. 1571–1578.
5. Kämpfer P. Encyclopedia of Food Microbiology. 2014. 109 с.
6. The Role of Reactive Oxygen Species in Antibiotic-Induced Cell Death in Burkholderia ceracia Complex Bacteria / H. Van Acker, J. Gielis, M. Acke, F. Cools, P. Cos, T. Coenye // PLoS One. 2016. No. 11(7).
7. Прайор У. А. Роль свободнорадикальных реакций в биологических системах // Свободные радикалы в биологии. 1979. Т. 1. С. 13–76.
8. Anita L., Stephan T. Pseudomonas Putida – a versatile host for the production of natural products // Appl Microbiol Biotechnol. 2015. Vol. 99(15) doi: 10.1007/s00253-015-6745-4
9. Aguilera J., Rautenberger R. Oxidative Stress Tolerance Strategies of Intertidal Macroalgae // Blackwell Publishing. 2012. No. 5. P. 58–71. doi: 10.1007/s11356-015-4985-6

10. Korshunov S., Imlay J. A. Two Sources of Endogenous Hydrogen Peroxide in *Escherichia coli* Mol. // Microbiol. 2010. No. 75. doi: 10.1111/j.1365-2958.2010.07059.x

11. Ren X., Zou L., Holmgren A. Targeting bacterial antioxidant systems for antibiotics development // Current Medicinal Chemistry. 2020. Vol. 27. No. 12. C. 1922–1939.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Н. Ю. Богдан, В. А. Сланина

*Институт микробиологии и биотехнологии Республики Молдова,
nina.bogdan.91@gmail.com*

В статье представлен опыт выделения микроорганизмов из воды, ила и биопленки городского водоема. Исследована ферментативная активность выделенных бактерии путем их культивирования на питательных средах, характерных для каждого вида фермента. Определена антибактериальная и противогрибковая активность отобранных бактерий с использованием тест-культур различной видовой принадлежности.

Ключевые слова: ферменты, антимикробная активность, бактерии, тест-культуры.

В озерах как и в морях, реках, грунтовых водах, в водоемах закрытых и открытых типов содержится разнообразное количество видов микроорганизмов.

Микрофлора воды отражает микробный состав почвы, в воде образуются специфические биоценозы – перспективные источники биологически активных продуктов. Биоценоз формируется из преобладающих микроорганизмов, которые адаптировались к условиям локализации и к качеству воды: температуре, кислотности, к количеству растворенного кислорода и углекислого газа, содержанию органических и минеральных веществ, общей микробной обсемененности. Удивительное разнообразие видов выживает в экстремальных условиях благодаря различным механизмам адаптации, включая синтез потенциально-ценных биомолекул, которых нет в наземной среде.

Качество воды контролируется множеством параметров, таких как химические, биологические, радиологические и физические. Их допустимое количество для каждого загрязнителя стандартизировано Всемирной Организацией Здравоохранения, Продовольственной и Сельскохозяйственной организацией [1, 2].

Микрофлора воды играет роль активного фактора в процессе ее самоочищения от органических отходов, которые используются микроорганизмами. Однако, все еще существует ограниченное понимание того, как бактериальное сообщество связано с параметрами качества воды и условиями окружающей среды. В связи с этим было проведено много исследований по выделению бактерий с высокой антагонистической активностью против патогенных микроорганизмов, которые могут быть опасными агентами и вызывать

многие заболевания. Благодаря развитому ферментативному комплексу бактерии способны метаболизировать разнообразие органических и неорганических компонентов.

Так, например, в озере Байкал были выявлены как широко распространенные штаммы родов *Pseudomonas* и *Bacillus*, так и редкие представители родов *Micrococcus* и *Acinetobacter*. Метаболиты пяти штаммов обладали широким спектром антимикробной активности [3]. Внедряя биологические методы предотвращения загрязнения (путем применения полезных и безопасных бактерий), можно было бы сократить финансовые затраты и риски, связанные с химическими удобрениями и пестицидами [4].

Многими авторами были проведены исследования микроорганизмов озера «La Izvor» (г. Кишинев). Авторы публикаций [5] и [6] подтверждают наличие в микробном сообществе озерной системы «La Izvor» актинобактерий родов *Streptomyces*, *Geodermatophilus*, *Micromonospora*, *Actinoplanes*, *Actinomadura* и микромицетов родов *Penicillium* и *Aspergillus*, способных синтезировать биологически активные метаболиты – ферменты. Исследователями [7] были выделены, определены и изучены основные виды бактерий, дрожжей и микроскопических грибов, которые преобладают в этом водоеме. В результате исследований из 213 выделенных бактерий, 148 штаммов оказались патогенными (представители родов: *Salmonella*, *Klebsiella*, *Staphylococcus*, *Shigella*, *Escherichia*, *Sarcina*) и 65 штаммов (представители: *Bacillus*, *Pseudomonas*) непатогенными. Также в чистые культуры были выделены и изучены 7 штаммов дрожжей, (представители родов *Saccharomyces*, *Schizosaccharomyces* и *Candida*), и 247 штаммов микромицетов. Во всех образцах преобладают роды *Aspergillus* и *Penicillium*, в меньшей степени распространены роды *Trichoderma*, *Alternaria*, *Mucor*, *Rhizopus* и *Fusarium*. Многие из обнаруженных штаммов являются фитопатогенными (представители родов *Aspergillus*, *Alternaria*, *Fusarium* и др.).

Известно, что бактерии являются продуцентами важных биологических веществ – аминокислот, витаминов, антибиотиков, внеклеточных ферментов протеазы, амилазы, фосфатазы, липазы или эстеразы. Эти ферменты имеют потенциальное промышленное и биотехнологическое применение. Многие исследователи указывают, что более чем 75% антибиотиков синтезируются актинобактериями, среди них примерно 80% – представители рода *Streptomyces* [8], а представители рода *Bacillus*, в водных системах способны расщеплять биополимеры [9], – все это объясняет интерес к выявлению новых штаммов из озерной системы «La Izvor».

Области практического применения микроорганизмов и синтезируемых ими биологически активных веществ в настоящее время очень многообразны. Антимикробный потенциал метаболитов этих водных микроорганизмов довольно широк – от сельского хозяйства и пищевой промышленности до фармацевтических препаратов. Многочисленные исследования показали, что микробное разнообразие водных бассейнов является источником уникальных и разнообразных микроорганизмов.

Целью работы было определить ферментативную активность бактерий выделенных из озера «La Izvog», который представляет собой водоем закрытого типа.

Отбор проб проведен из образцов воды, ила и биопленки. В наших исследованиях для идентификации и количественного определения бактерий мы использовали метод посева на агаризованных питательных средах с различными составами. Для элиминации патогенных энтеробактерий выделенные штаммы культивировали на среде KIA. В результате для дальнейших исследований было отобрано только 65 штаммов. Бактерии были классифицированы на основе морфологических и культурных характеристик. Были идентифицированы представители 2 родов, наиболее часто встречающихся в микробных сообществах почвы и водной среды Республики Молдова - палочковидные бактерии грамположительных (родов *Bacillus*) и грамотрицательных (родов *Pseudomonas*) форм.

Скрининг изолятов производили путем изучения ферментативной активности, культивированием бактерий на питательных средах характерных для каждого вида фермента (амилаза, каталаза, липаза, целлюлаза). Для исследования антифунгальных свойств были использованы 5 тест-культур различной видовой принадлежности *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus niger*, депонированные в Национальной Коллекции Непатогенных Микроорганизмов Института Микробиологии и Биотехнологии. Антибактериальные свойства были определены на двух тест-культурах *Escherichia coli* ATCC® 25922™, *Staphylococcus aureus* ATCC® 25923™.

Среди 65 бактериальных изолятов 41,5% характеризовались активностью в отношении трех из четырех выбранных ферментов, 10,7% штаммов в отношении всех четырех ферментов, активностью амилазы (48%) и каталазы (61%) - большинство культур.

Коллективом Института морской биотехнологии Университета Малайзии Теренггану исследовано разнообразие морских бактерий, продуцирующих ферменты. Из 200 бактериальных изолятов 161 культура синтезировали амилазу (68,7%), липазу (88,3%) и протеазу (68,7%) [10]. Авторы Ариана Серпа Баррето и др. [11] исследовали 24 штамма из бразильской Амазонки на предмет потенциала биоконтроля фитопатогенных грибов для семян сои (*Glycine max* (L.) Merrill). Два штамма характеризовались выраженными противогрибковыми свойствами по отношению к шести из семи грибов.

В настоящее время существует большое разнообразие видов микроорганизмов, вызывающих проблемы с качеством фруктов и овощей, что влияет на их пищевую ценность, органолептические характеристики и период хранения. Известно, что более 300 грибковых метаболитов могут вызывать аллергические или ядовитые расстройства, такие как канцерогенность, генотоксичность, тератогенность, нефротоксичность, гепатотоксичность, репродуктивные нарушения и иммуносупрессию у потребителей [12].

Антагонистическую активность метаболитов бактерий оценивали методом агаровых блоков по диаметру зон ингибирования роста тест-культур. Антагонистическая активность варьировалась от $6,0 \pm 1,13$ мм до $35,0 \pm 1,96$ мм. Штамм № 1 показал наибольшую активность $30,0 \pm 2,26$ мм против *Alternaria alternata*, $33,3 \pm 1,31$ мм против *Botrytis cinerea*, $23,0 \pm 1,13$ мм против *Fusarium solani* и $32,7 \pm 1,31$ мм против *Fusarium oxysporum*. Двадцать четыре изолята не обладали ингибирующими свойствами, а противогрибковая активность в отношении *Aspergillus niger* оказалась не была значительной.

На фотографиях изображена противогрибковая активность бактерий по отношению к фитопатогенным тест-культурам (рис. 1).

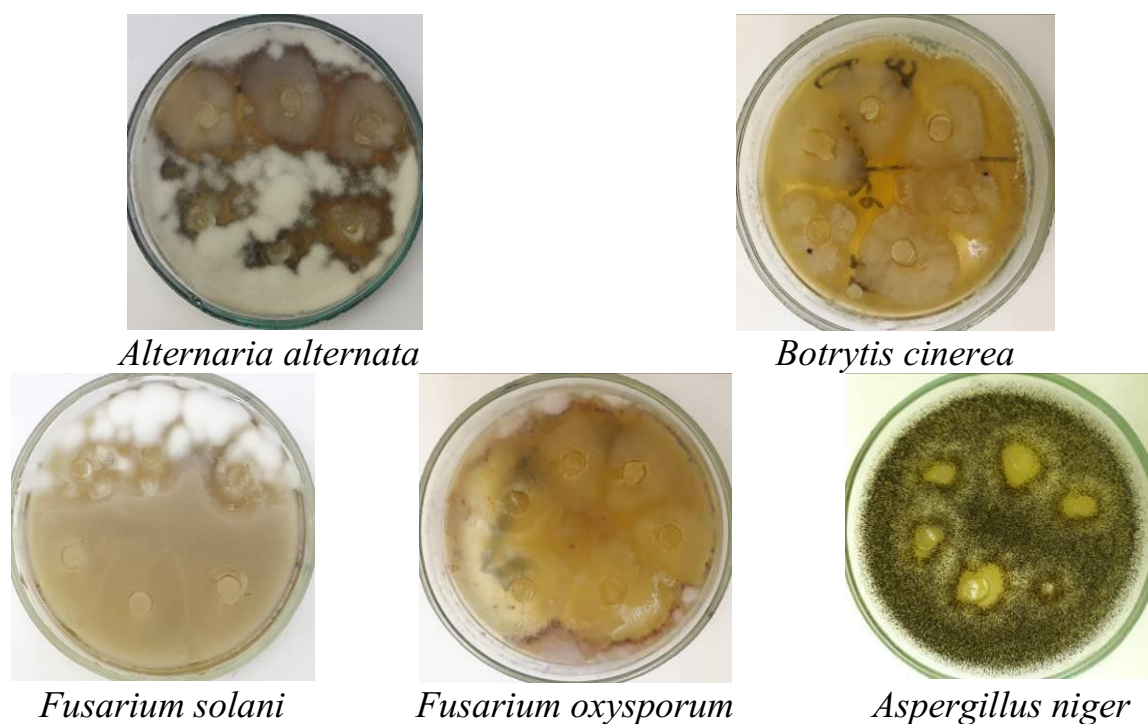


Рис. 1. Противогрибковая активность бактерий к фитопатогенам

Штаммы *Escherichia coli* ATCC® 25922™ и *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 использовались в качестве тест-культур для исследования антибактериальных свойств, которые были проведены при поддержке Института Биологии Бухареста, Румыния. Тест-культуры культивировали в течение ночи в специализированных средах при температуре 37 °С. Полученную суспензии клеток микроорганизмов использовали для определения антимикробной активности.

Тестированием культур методом диффузии из лунок агара было отмечено наличие зон ингибирования роста грамотрицательного типа бактерий (*Escherichia coli* ATCC ® 25922™) изолятами 32 и 46 с диаметром $26 \pm 0,1$ мм и $28 \pm 0,1$ мм соответственно (рис. 2)

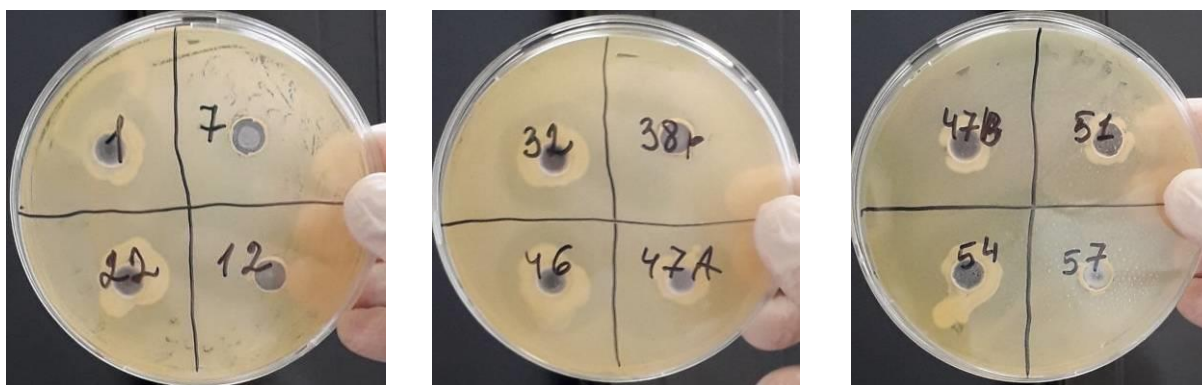


Рис. 2. Антибактериальная активность штаммов № 32 и № 46 против *E. coli* ATCC ® 25922™

На основе полученных результатов были селектированы наиболее активные изоляты: номера 1, 7, 12, 22 (из образцов воды), номера 32, 38 46 (из образцов ила), 51, 54, 57, 61, 65 (из биопленки) для дальнейшего исследования их антибактериальной активности в отношении *S. aureus* и *E. coli*.

Проведенные исследования показали, что озеро «La Izvor» является источником перспективных микроорганизмов, метаболиты которых могут быть использованы в качестве основы для противомикробных препаратов. Селектированные штаммы представляют биотехнологический интерес, поэтому дальнейшие исследования будут направлены на пополнение Национальной Коллекции Непатогенных Микроорганизмов.

Исследования проводились в рамках проекта 20.80009.7007.09 (ANCD).

Библиографический список

1. Water quality parameters along rivers / M. J. Alam, M. R. Islam, Z. Muyen, M. Mamun, S. Islam // *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2007. Vol. 4. No. 1. P. 159–167.
2. Study of physico-chemical characteristics of wastewater in an urban agglomeration in Romania / P. Popa, M. Timofti, M. Voiculescu, S. Dragan, C. Trif, L. P. Georgescu // *Scientific World Journal.* 2012. No. 549028. doi: 10.1100/2012/549028
3. Antimicrobial potential of microorganisms isolated from the bottom sediments of Lake Baikal / O. Babich, M. Shevchenko, S. Ivanova, V. Pavsky, M. Zimina, et al. // *Antibiotics Journal.* 2021. Vol. 10. No. 8. P. 927.
4. Microbiological analysis, antimicrobial activity, and heavy-metals content of Jordanian Ma'in hot-springs water / Ali K. Muhamad, et al. // *Elsevier Journal of Infection and Public Health.* 2017. Vol. 10. Issue 6. P. 789–793.
5. Бурцева С. А., Бырса М. Н., Чеботарь В. И. Актинобактерии в микробном сообществе озерной системы «La Izvor» г. Кишинев // *Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием.* Киров : ВятГУ, 2021. С. 62–65.
6. Молдован К. Е., Богдан Н. Ю., Бурцева С. А. Каталазная активность микромицетов, выделенных из озера «La izvor» города Кишинев // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием.* Киров : Вятский государственный университет, 2021. с. 180-184
7. Микроорганизмы, преобладающие в озере «La Izvor»/ Т. Ф. Сырбу, В. А. Сланина, Л. М. Батыр, К. Е. Молдован // *Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием.* Киров : ВятГУ, 2021. С. 59–62.

8. Tiwari K., Gupta R. K. Rare actinomycetes: a potential storehouse for novel antibiotics // *Critical Reviews in Biotechnology*. 2012. Vol. 32. No. 2. P. 108–132. doi: 10.3109/07388551.2011.562482
9. Eiler A., Bartilsson S. Composition of freshwater bacterial communities associated with cyanobacterial in four Swedish lakes // *Environment Microbiology*. 2004. Vol. 6. No. 12. P. 1228–1243. doi: 10.1111/j.1462-2920.2004.00657.x
10. Industrial enzymes-producing marine bacteria from marine resource / T. H. Cheng, N. Ismail, N. Kamarudin, J. Saidin, M. Danish-Daniel // *Biotechnol Repost*. 2020. Vol. 27. No. e00482. doi: 10.1016/j.btre.2020.e00482
11. Diversity in antifungal activity of strains of *Chromobacterium violaceum* from the Brazilian Amazon / E. S. Barreto, A. R. Torres, M. R. Barreto, A. Vasconcelos, S. Astolfi-Filho, M. Hungria // *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2008. Vol. 35. Is. 7. P. 783–790. doi: 10.1007/s10295-008-0331-z
12. Natural compounds: a sustainable alternative to the phytopathogens control / M. F. Jiménez-Reyesa, H. Carrascob, F. A. Oleab, E. Silva-Morenoa // *Journal of the Chilean Chemical Society*. 2019. Vol. 64. No. 2. doi: 10.4067/S0717-97072019000204459

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛЯДВЕНЦА РОГАТОГО ПОД ВЛИЯНИЕМ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН РАЗЛИЧНЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ (ЛАБОРАТОРНЫЕ ОПЫТЫ)

**П. А. Стариков¹, С. Ю. Огородникова², П. С. Михеева¹,
Л. И. Домрачева^{1,2}, А. Л. Ковина¹, Л. В. Трефилова¹**
¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
ya.starikov-pavel@yandex.ru
² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, svetao_05@mail.ru

Семена лядвенца рогатого в лабораторных опытах с рулонными культурами инокулировали различными группами микроорганизмов и их сочетаниями. К числу инокулянтов относились *Rhizobium loti*, *Trichoderma* sp. К-02Т, *Fusarium oxysporum*. При снятии опыта определяли всхожесть семян, уровень поражения проростков грибами, длину корней, высоту проростков, индекс роста, а также интенсивность процессов перекисного окисления липидов по накоплению малонового диальдегида (МДА) в корнях и листьях. Было показано, что в присутствии *Trichoderma* sp. существенно увеличивается показатель индекса роста и снижается накопление МДА в растениях, а также уменьшается уровень фузариозного поражения проростков.

Ключевые слова: лядвенец рогатый, *Rhizobium loti*, *Trichoderma*, *Fusarium*, фузариоз, биологический контроль, перекисное окисление липидов.

Увеличение посевных площадей бобовых культур и расширение их ассортимента являются актуальными задачами современного земледелия [1]. Это связано с тем, что бобовые являются не только основой продуктов питания и кормов, полноценных по содержанию белка, но и повышают плодород-

дие почвы за счет способности формировать симбиотические взаимоотношения с бактериями-азотфиксаторами [2]. К числу наиболее перспективных азотнакопителей и кормовых культур относится лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus*), интенсивное возделывание которого в Кировской области началось сравнительно недавно. На территории Северо-востока европейской части России лядвенец относится к минорным компонентам дикой флоры [3]. Это предопределяет обязательную предпосевную инокуляцию семян специфичной для данного вида клубеньковой бактерией *Rhizobium loti*.

Проведенные ранее исследования показали необходимость некоторых предпосевных манипуляций, которые повышают ростовые показатели лядвенца [4]. К их числу относится механическая скарификация семян, совместная их инокуляция ризобиями и цианобактериями, которые не только выступают в качестве активаторов роста, но и подавляют развитие фитопатогенов [5]. В то же время в ряде современных исследований уделяется внимание изучению влияния ассоциаций клубеньковых бактерий и грибов рода *Trichoderma* на рост различных бобовых культур. В частности, выявлен положительный эффект совместной инокуляции ризобиями и представителями *Trichoderma* spp. при выращивании гороха коровьего (*Vigna unguiculata*), фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris*), а также других культур семейства бобовые [6, 7]. В полевых экспериментах отмечалось увеличение урожайности растений и снижение заболеваемости, например, поражения бобов конских (*Vicia faba*) шоколадной пятнистостью [8].

Цель данной работы – изучение возможности использования для предпосевной инокуляции семян консорциума *Rhizobium loti* + *Trichoderma* sp.

В работе использовали семена лядвенца рогатого сорта Солнышко урожая 2021 г., полученные из лаборатории селекции и первичного семеноводства многолетних трав ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Перед закладкой опыта семена подвергали скарификации с помощью наждачной бумаги. Для инокуляции семян были подготовлены суспензионные культуры микроорганизмов. *Rhizobium loti* (с титром $9,8 \cdot 10^{11}$ КОЕ/мл) получен из коллекции гетеротрофных микроорганизмов кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятского ГАТУ. Изолят *Trichoderma* sp. К-02Т (с титром $1,93 \cdot 10^7$ конидий/мл), обладающий антифузариозной активностью [9], выделен в чистую культуру с плодового тела трутовика, взятого на территории Кировского дендрологического парка. Для искусственного заражения семян использовали фитопатогенный грибок *Fusarium oxysporum* (с титром $2,96 \cdot 10^7$ конидий/мл), выделенный из ризосферы клевера сотрудниками лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Культуры микроорганизмов выращивали в течение недели на бобовом агаре, после чего готовили их суспензии путем смыва культур стерильной водой с поверхности твердой среды. Титры суспензий конидий микромицетов определяли путем подсчета в камере Горяева, а титр *Rhizobium loti* оценивали методом посева разведений суспензии на чашки Петри.

Семена инкубировали в культурах микроорганизмов в течение четырех часов. Опыт был поставлен методом рулонных культур. В каждом рулоне размещали по 50 семян, по 3 рулона на вариант. Рулоны помещали в стеклянные вегетационные сосуды с артезианской водой, затянутые сверху полиэтиленовой пленкой, и выдерживали в течение 10 суток при температуре $24 \pm 1^\circ\text{C}$. С 5-го дня от момента закладки опыта, когда появились первые проростки, сосуды установили под лампы дневного света с фотопериодом 16 часов.

Варианты опыта:

- 1) Контроль – замачивание в артезианской воде «Ключ здоровья»;
- 2) *Rhizobium loti*;
- 3) *Trichoderma* sp. К-02Т;
- 4) *Fusarium oxysporum*;
- 5) *Rh. loti* + *Trichoderma* sp.;
- 6) *Rh. loti* + *F. oxysporum*;
- 7) *Trichoderma* sp. + *F. oxysporum*;
- 8) *Rh. loti* + *Trichoderma* sp. + *F. oxysporum*.

При снятии опыта промеряли длину корней и высоту побега, определяли всхожесть и уровень грибного поражения. Вычисляли индекс роста по формуле:

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

где I – индекс роста; R – среднее значение длины корней, мм; P – среднее значение высоты проростков, мм; D – доля проросших семян, %.

Интенсивность процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в листьях и корнях оценивали по накоплению одного из продуктов метаболизма – МДА. Навеску растительного материала растирали в присутствии трихлоруксусной кислоты, после чего кипятили полученный гомогенат. Концентрацию МДА в экстракте определяли на спектрофотометре ПЭ-5300 ВИ (Экротхим, Россия) при длине волны 532 нм [10].

Статистическая обработка результатов проведена с использованием стандартных статистических методов, графики построены в Excel 2002 for Windows.

Результаты опыта показывают, что выбранная партия семян характеризуется низкой всхожестью – от 48% в контроле до 61% при обработке *Rhizobium loti* (табл.). Вероятно, это связано с тем, что семена сбора 2021 г. еще не достигли своей физиологической зрелости.

Анализ морфометрических результатов показывает, что наиболее объективным критерием оценки состояния растений является интегрированный показатель – индекс роста, при вычислении которого учитываются такие параметры, как всхожесть, длина корня и высота побега. Максимальная величина этого показателя зарегистрирована в вариантах с инокуляцией семян триходермой, ризобиями и сочетанием *Rhizobium loti* и *Trichoderma* sp. (табл.). Самая высокая поражаемость проростков отмечается в варианте с искусственным заражением семян *F. oxysporum*. В этом же варианте наблюдается и минимальная величина индекса роста. Достаточно перспективным выглядит

применение консорциума триходермы и ризобиума, при использовании которого наблюдается незначительное увеличение высоты надземной части растения, но довольно значимое возрастание длины корней и, соответственно, индекса роста.

Таблица

Влияние инокуляции семян лядвенца рогатого на всхожесть, морфометрические показатели и индекс роста

Вариант	Высота стебля, мм	Длина корня, мм	Индекс роста	Всхожесть, %	Поражение грибами, %
Контроль	10,6±1,6	18,5±2,3	1396,8	48,0±8,4	0
<i>Rhizobium loti</i>	11,5±0,4	17,8±0,1	1786,7	61,0±12,7	0
<i>Trichoderma</i> sp.	12,3±1,3	23,9±3,5	1882,9	52,0±14,1	0
<i>Fusarium oxysporum</i>	8,4±2,6	14,9±6,5	1000,2	43,0±7,0	73,7±5,1
<i>Rh. loti</i> + <i>Trichoderma</i> sp.	11,4±1,1	24,6±3,2	1691,5	47,0±4,2	0
<i>Rh. loti</i> + <i>F. oxysporum</i>	7,8±0,1	15,3±3,9	1157,5	50,0±14,0	65,3±8,3
<i>Trichoderma</i> sp. + <i>F. oxysporum</i>	10,2±0,9	22,8±0,5	1650,0	50,0±8,5	49,3±25,5
<i>Rh. loti</i> + <i>Trichoderma</i> sp. + <i>F. oxysporum</i>	8,7±0,7	18,1±4,9	1529,9	57,0±1,4	37,3±11,0

Примечание: Жирным шрифтом выделены максимальные показатели индекса роста.

Использование монокультуры триходермы и комбинации *Rhizobium loti* и *Trichoderma* sp. привело к существенному снижению поражения растений фузариумом (с 73% до 48%), а также к увеличению показателя индекса роста и по сравнению с контролем и вариантом с обработкой исключительно споровой суспензией фитопатогена. Это открывает перспективу использования ассоциации *Rhizobium loti* и *Trichoderma* sp. для предпосевной обработки семян как элемента агротехники лядвенца рогатого.

Определение ПОЛ показало, что максимальная интенсивность этого биохимического процесса во всех вариантах наблюдается в листьях и существенно ниже в корнях (рис.). При этом использование триходермы в качестве инокулянта приводит к снижению накопления МДА и в листьях, и в корнях. В противоположность этому, в тканях растений, инфицированных фузариумом, наблюдается максимальная интенсивность ПОЛ. Однако добавление к инфицированным семенам ризобиума, триходермы или их комбинации несколько ослабляет стрессовое воздействие фитопатогена, что приводит к снижению накопления МДА.

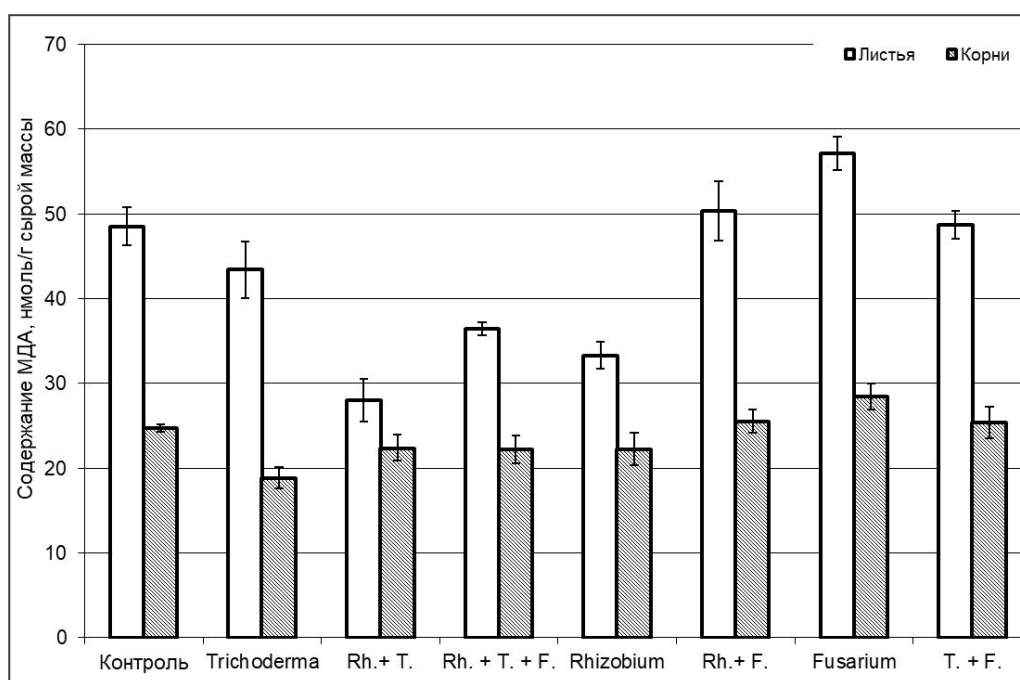


Рис. Содержание малонового диальдегида в листьях и корнях люцерны роговой (нмоль/г сырой массы)

Таким образом, результаты проведенного исследования показали, что использование грибов рода *Trichoderma* в качестве микробиологического инокулянта семян люцерны роговой в сочетании с *Rhizobium loti* приводит к увеличению индекса роста, который является интегральным показателем состояния растений. Кроме того, такая предпосевная обработка снижает интенсивность процессов ПОЛ в растительных клетках, а также ослабляет негативное воздействие фитопатогенного гриба *Fusarium oxysporum*.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги».

Библиографический список

1. Роль бобовых культур в совершенствовании полевого травосеяния России / Ю. К. Новоселов, А. С. Шпаков, М. Ю. Новоселов, В. В. Рудоман // Кормопроизводство. 2010. № 7. С. 19–22.
2. Завалин А. А., Благовещенская Г. Г. Вклад биологического азота бобовых культур в азотный баланс земледелия России // Агрехимия. 2012. № 6. С. 32–37.
3. Оптимизация микробиологического состава биопрепарата при выращивании люцерны роговой (*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
4. Золотарев В. Н. Прайминг как фактор повышения эффективности семеноводства люцерны роговой // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. трудов. М. : Угрешская типография, 2020. С. 94–105. doi: 10.33814/МАК-2020-24-72-94-105.
5. Влияние способов предпосевной обработки семян люцерны роговой (*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. Новокшонова //

Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 67–72. doi: 10.25750/1995-4301-2014-3-067-072

6. Combined inoculation of rhizobia and *Trichoderma* spp. on cowpea in the savanna, Gurupi-TO, Brazil / A. F. Chagas, A. G. De Oliveira, G. R. Dos Santos, H. B. Reis, L. F. B. Chagas, L. O. Miller // Rev. Bras. Ciências Agrar. 2015. Vol. 10. No. 1. P. 27–33. doi: 10.5039/agraria.v10i1a4334

7. Mweetwa A. M., Chilombo G., Gondwe B. M. Nodulation, Nutrient Uptake and Yield of Common Bean Inoculated with *Rhizobia* and *Trichoderma* in an Acid Soil // J. Agric. Sci. 2016. Vol. 8. No. 12. P. 61–71. doi: 10.5539/jas.v8n12p61

8. Shaban W. I., El-Bramawy M. A. Impact of dual inoculation with *Rhizobium* and *Trichoderma* on damping off, root rot diseases and plant growth parameters of some legumes field crop under greenhouse conditions // International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science. 2011. Vol. 1. No. 3. P. 98–108.

9. Стариков П. А., Шешегова Т. К. Скрининг изолятов *Trichoderma* spp., перспективных для биоконтроля *Fusarium culmorum* // Микроорганизмы и плодородие почвы: материалы I Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Е. М. Панкратовой (Киров, 21–25 февраля 2022 г.). Киров: ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ, 2022. С. 128–131.

10. Лукаткин А. С., Голованова В. С. Интенсивность перекисного окисления липидов в охлажденных листьях теплолюбивых растений // Физиология растений. 1988. Т. 35. № 4. С. 773–780.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БИОПЛЕНОК «ЦВЕТЕНИЯ» ПОЧВЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ

Ю. С. Забубенина¹, Л. В. Трефилова¹, Л. И. Домрачева^{1,2}
¹ Вятский государственный агротехнологический университет,
dli-alga@mail.ru
² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

В работе приведены результаты лабораторного опыта, связанного с выявлением особенностей формирования «цветения» почвы, в которую при посеве лядвенца рогатого в полевых условиях вместе с семенами были внесены культуры различных микроорганизмов. Показано, что количественные параметры исследуемых биопленок и их структурные особенности обусловлены характером вносимых интродуцентов. Наличие цианобактерии в составе инокулята стимулирует массовое размножение этой группы микроорганизмов в почве.

Ключевые слова: интродукция, инокуляция семян, «цветение» почвы, биопленки, водоросли, цианобактерии, сапротрофные микроорганизмы.

Конечным этапом развития фототрофных микроорганизмов в почве (водорослей и цианобактерий), как правило, является их выход на поверхность и формирование наземных разрастаний, получивших название «цветение» почвы. Этот феномен является во многих случаях диагностическим при-

знаком и позволяет оценить состояние почвы на наличие в ней питательных элементов, необходимых для растений, или на загрязнение почвы поллютантами различного происхождения [1, 2]. В то же время доказано, что специфика видового и группового состава биопленок очень часто связана с дополнительной интродукцией микроорганизмов, которые попадают в почву при инокуляции семян и выполняют роль или паразитов, или их антагонистов [3]. Для этого, как правило, пленки «цветения» отбирают непосредственно в поле и проводят их микроскопическое исследование. Однако при наличии загущенных посевов «цветение» почвы не развивается. В этих случаях проводят лабораторное моделирование процесса с отобранными образцами почвы.

Цель данной работы – оценить степень влияния предпосевной инокуляции семян лядвенца рогатого различными группами микроорганизмов на интенсивность развития и структурные особенности «цветения» почвы.

При постановке лабораторного опыта использовали образцы дерново-подзолистой средне-суглинистой почвы, с различных вариантов полевого опыта с лядвенцем рогатым. Перед посевом семена прошли механическую скарификацию и в соответствующих вариантах были инокулированы различными видами сапротрофных и автотрофных микроорганизмов или их консорциумами [4, 5]. Опыт был заложен на опытном поле ФАНЦ им. Н. В. Рудницкого и включал следующие варианты:

1. Контроль – семена без инокуляции. 2. *Rhizobium loti*. 3. *Fischerella muscicola* 300. 4. *Streptomyces hydroscopicus* A4. 5. *Rh. loti*+*S. hydroscopicus*. 6. *Rh. loti*+*F. muscicola*. 7. *Rh. loti*+*S. hydroscopicus*. 8. *Rh. loti*+*F. muscicola*+*S. hydroscopicus*.

Через год почву с глубины 0-1,0 см отбирали для постановки лабораторного опыта, высушивали, растирали, очищали от корней, просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм и помещали в пластиковые контейнеры по 100 г, увлажняя почву до 60% от полной влагоемкости. При появлении на поверхности визуально заметных разрастаний почвенным буриком площадью 1 см² делали по 10 высечек с каждого варианта (рис. 1) и готовили мазки для прямого количественного учета под микроскопом в 9-кратной повторности [1].



Рис. 1. Модельные опыты по влиянию микробной интродукции на интенсивность «цветения» почвы. А – «цветение» на поверхности почвы; Б – отбор проб «цветущей» почвы буриком

Результаты опыта, представленные в таблице, показывают, что численность водорослей, цианобактерий и общая численность фототрофов колеблется по вариантам в достаточно широких пределах.

Таблица

Влияние микробной интродукции на численность фототрофов в биопленках «цветения» почвы ($\cdot 10^3$ кл./см²)

Вариант	Водоросли	Цианобактерии	Всего
1. Контроль	650,0±230,0	230,0±50,0	880,0±200,0
2. <i>Rhizobium loti</i>	1550,0±7,0	203,0±15,0	1753,0±85,0
3. <i>Fischerella muscicola</i>	2400,0±17,0	6900,0±110,0	9300,0±127,0
4. <i>Streptomyces hydroscopicus</i>	267,0±5,5	220,6±7,0	487,7±12,5
5. <i>Rh. loti</i> + <i>S. hydroscopicus</i>	720,0±8,4	1505,0±30,4	2225,0±38,8
6. <i>Rh. loti</i> + <i>F. muscicola</i>	140,0±3,0	1250,0±70,0	1390,0±73,0
7. <i>Rh. loti</i> + <i>S. hydroscopicus</i>	675,0±20,5	295,0±7,0	970,0±27,7
8. <i>Rh. loti</i> + <i>F. muscicola</i> + <i>S. hydroscopicus</i> .	110,7±23,0	1733,3±36,0	1844,0±53,0

Примечание: жирным шрифтом выделены максимальные показатели численности водорослей и цианобактерий.

Максимальная общая численность фототрофов, как и максимальная численность цианобактерий, ожидаемо выявлена в варианте с интродукцией *F. muscicola*. Примечательно также, что, по сравнению с контролем, мощность биопленок выше во всех вариантах, кроме вариантов с внесением в почву *S. hydroscopicus* и *Rh. loti*+ *S. hydroscopicus*.

Анализ структуры популяций фототрофов показывает, что в разных вариантах доминируют как эукариоты (водоросли), так и прокариоты (цианобактерии) (рис. 2). Так, доминирование водорослей практически на таком же уровне, как в контроле, отмечено в варианте *Rh. loti*+ *S. hydroscopicus* (73,9–69,5%), несколько более высокое представительство водорослей, чем в контроле, характерно для варианта *R. loti* (88,4% против 73,9%).

Интересный факт выявлен в варианте *F. muscicola*: при доминировании в структуре популяций цианобактерий (74,2%), абсолютная численность водорослей (2,4 млн кл./см²) представлена именно в данном случае. Возможно, бурное размножение цианобактерий в этом варианте способствует и размножению водорослей, поскольку неоднократно отмечалось, что спутниками цианобактерий в биопленках постоянно являются водоросли различных отделов. В то же время, если не рассматривать абсолютные показатели численности клеток фототрофов, доминирование цианобактерий встречается и в других вариантах с интродукцией микроорганизмов, вплоть до 94% в варианте *Rh. loti* + *F. muscicola*+ *S. hydroscopicus*.

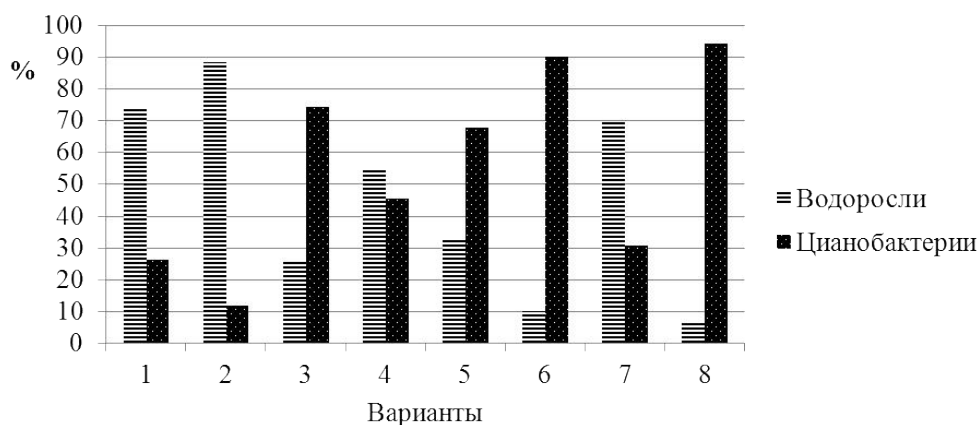


Рис. 2. Влияние интродуцированных микроорганизмов на структуру фототрофных популяций (%). Варианты: 1. Контроль – семена без инокуляции. 2. *Rhizobium loti*. 3. *Fischerella muscicola* 300. 4. *Streptomyces hydroscopicus* А4. 5. *Rh. loti*+*S. hydroscopicus*. 6. *Rh. loti*+ *F. muscicola*. 7. *Rh. loti*+ *S. hydroscopicus*. 8. *Rh. loti*+ *F. muscicola*+ *S. hydroscopicus*

Таким образом, результаты лабораторного опыта показали, что интродукция в почву различных групп микроорганизмов, обусловленного предпосевной инокуляцией семян, приводит к изменению количественных параметров и группового состава фототрофных комплексов при «цветении» почвы. Наибольшее влияние на данные показатели оказало внесение в почву цианобактерии *Fischerella muscicola*. При этом возрастает не только численность цианобактерий, но и эукариотных водорослей.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги».

Библиографический список

1. Домрачева Л. И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар, 2005. 336 с.
2. Тупикова Г. С., Егорова И. Н. Биологические почвенные корочки в сухостепных экосистемах Байкальской котловины // Микроорганизмы и плодородие почвы : материалы I Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Евгении Матвеевны Панкратовой. Киров : Вятский ГАТУ, 2022. С. 143–146.
3. Эффекты взаимодействия цианобактерий и стрептомицетов для экологически безопасной защиты растений от фитопатогенов / И. Г. Широких, Л. И. Домрачева, А. Л. Ковина, А. И. Фокина, Д. В. Козылбаева, А. В. Короткова, Я. И. Назарова, А. И. Малинина // Цианопрокариоты/цианобактерии: систематика, экология, распространение : материалы докладов II Междунар. науч. школы-конф. 2019. С. 290–294.
4. 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: 10.25750/1995-4301-2019-1-094-101
5. Последствия предпосевной микробной инокуляции семян лядвенца рогатого на численность аборигенной микрофлоры почвы / Д. В. Козылбаева, Л. И. Домрачева, Л. В. Трефилова, А. Л. Ковина, В. А. Изотова, А. И. Малинина, Е. В. Товстик, М. Н. Гри-

пась // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : ВятГУ, 2018. С. 226–230.

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ПЛАНКТОННОЙ АЛЬГОФЛОРЫ ОЗЕРА КАМЕНИК КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А. С. Дюкова, В. А. Сотникова
Костромской государственный университет,
annadyukova.kgu@mail.ru; Va2lera3@gmail.com

В статье представлены данные по биоразнообразию планктонной альгофлоры озера Каменик – третьего по величине озера Костромской области. Дана сравнительная характеристика состояния фитопланктона за 2015–2017 и 2021 годы. Определены виды-индикаторы экологического состояния водоема.

Ключевые слова: альгофлора, фитопланктон, Костромская низина, озеро Каменик, биоразнообразие, биоиндикация.

Строительство Нижегородской ГРЭС и образование Горьковского водохранилища вызвало затопление части Костромской низины и образование в 1955–1957 гг. Костромского водохранилища площадью 176 км². Гидрологический комплекс Костромской низины уникален. Сегодня он представляет собой систему сообщающихся водоемов, отделенных от водохранилища системой дамб и имеющих более низкий уровень воды, чем в самом водохранилище.

Озеро Каменик располагается на территории Костромской низины в Костромской области, принадлежит к Верхневолжскому бассейновому округу и имеет площадь 2,72 км² (протяженность озера 2,1 км, ширина – 0,94 км). Озеро Каменик является третьим по площади в регионе. Оно соединяется с рекой Узакса и озером Турово, и их воды поступают в реку Кострому. Проточность озера невысокая, в некоторых частях течение практически отсутствует. В настоящее время озеро зарастает тростником, камышом озерным, появились кубышка желтая, кувшинка белая, водокрас лягушачий. Отмечаются следы жизнедеятельности ондатр, бобров, по берегам гнездятся водоплавающие птицы. Возрастает уровень загрязнения воды в озере органическими веществами антропогенного происхождения, что приводит к ускорению процессов эвтрофирования водоема. Территория Костромской низины, включая и озеро Каменик, являясь уникальным памятником природы, нуждается в изучении и охране.

Сведения о состоянии альгофлоры озера Каменик в настоящее время очень скудны и немногочисленны. Вместе с тем группа фитопланктонных организмов является весьма информативной при оценке экологического

состояния водоема. Поэтому целью нашего исследования стало изучение особенностей фитопланктона озера Каменик.

Сбор проб происходил в летние периоды 2015–2017 и 2021 гг. с использованием планктонной сети по общепринятой методике [1, 2] в 6 точках акватории озера. Пробы исследовали как в фиксированном, так и в живом виде. Их обрабатывали в лаборатории с использованием микроскопа Биомед 3. Всего было проанализировано 84 пробы.

За период исследования в озере Каменик обнаружено 64 рода водорослей, относящихся к шести отделам: Chlorophyta, Bacillariophyta, Cyanophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Dinophyta.

Отдел Chlorophyta представлен 21 родом, относящимся к 10 семействам, 5 порядкам и 2 классам. Наибольшим разнообразием отличались порядки Zygnematales (10 родов) и Chlorococcales (6 родов). Отдел Bacillariophyta представлен 19 родами, относящимися к 15 семействам, 9 порядкам и 3 классам. Наибольшее число родов обнаружено в порядках Naviculales (6 родов) и Fragilariales (4 рода). Отдел Cyanophyta представлен 11 родами, относящимися к 7 семействам, 3 порядкам и 1 классу. Наибольшее разнообразие отмечено в порядках Nostocales и Chlorococcales, включающих по 4 рода. Отдел Chrysophyta представлен 3 родами, относящимися к 3 семействам, 2 порядкам и 2 классам. Отдел Euglenophyta включает 2 рода из одного семейства, одного порядка и одного класса. Отдел Dinophyta представлен всего одним родом, одним семейством, порядком и классом.

Сравнивая состав фитопланктона 2015–2017 годов исследования с данными 2021 года, можно отметить существенное снижение биоразнообразия в 2021 году. В летний период исследований 2021 года качественный состав планктонной альгофлоры представлен всего 25 родами, относящимися к 5 отделам. Отдел Chlorophyta включает 10 родов, отдел Bacillariophyta – 5 родов, отдел Cyanophyta – 6 родов, отдел Euglenophyta – 2 рода, отдел Dinophyta – 1 род. Возможно, такая негативная динамика связана как с погодными условиями в момент сбора проб: высокой температурой воды и воздуха, что могло отрицательно сказаться на разнообразии представителей планктонной альгофлоры, так и с негативными процессами, протекающими в самом озере. Поэтому мы считаем необходимым проведения регулярного мониторинга состояния озера.

Во все периоды исследования озера нами отмечены в достаточно большом количестве представители таких видов как *Microcystis aeruginosa* (Kutz. emend. Elenk), *Anabena spiroides* (Kleb.), *Aphanizomenon flos-aquae* (L., Ralfs), *Closterium moniliferum* (Bory, Ehrenb.), *Eudorina elegans* (Ehrenberg), *Volvoc globator* (L.), *Volvoc aureus* (Ehr.), *Pediastrum duplex* (Meyen), *Ankistrodesmus falcatus* (Ralfs), *Coelastrum microsporum* (Naeg.), *Scenedesmus communis* (Hegew), *Synura uvella* (Ehr. Emend. Korsch.). Это может характеризовать озеро Каменик как β -мезосапробный водоем [3].

Ниже представлен список обнаруженных представителей альгофлоры озера Каменик.

Cyanophyta
 Cyanophyceae
 Chroococcales
 Merismopediaceae: *Merismopédia* (Meyen, 1839): *Merismopédia elegans* (A. Br.)
 Microcystaceae: *Microcýstis* (Lemmermann, 1907): *Microcýstis aeruginosa* (Kutz. emend. Elenk.), *Microcýstis pulveria* (Wood Forti emend. Elenk.), *Microcýstis floß-aquae* (Wood Forti emend. Elenk.); *Gloeocapsa* (Kützing, 1843)
 Chroococcaceae: *Chroocóccus* (Nägeli, 1849)
 Oscillatoriales
 Phormidiaceae: *Phormídium* (Kützing, 1843, Gomont, 1892): *Phormídium tenue* (Menegh., Gom.); *Spirulína* (Turpin, 1829) Gomont, 1892: *Spirulína Jenneri* (Haas., Kutz.)
 Oscillatoriaceae: *Oscillatória* (Vaucher, 1803, Gomont, 1832): *Oscillatória sancta* (Kutz., Gom.)
 Nostocales
 Nostocaceae: *Anabaéna* (Bory, 1822, Bornet et Flahult, 1886): *Anabéna variabilis* (Kutz.), *Anabaena flos-aquae* (Lyngb., Breb.), *Anabéna spiroides* (Kleb.); *Aphanizómenon* (Morren, 1838, Bornet et Flahult, 1886): *Aphanizómenon flos-aquae* (L., Ralfs); *Nóstoc* (Vaucher, 1803, Bornet et Flahult, 1886): *Nóstoc punctiforme* (Kutz., Hariot.)
 Rivulariaceae: *Rivulária* (C. Agardh, 1824, Bornet et Flahult, 1886): *Rivulária planctonica* (Ekenk.)
 Bacillariophyta
 Coscinodiscophyceae
 Melosirales
 Melosiraceae: *Melosíra* (C. Agardh, 1824)
 Fragilariophyceae
 Fragilariales
 Fragilariaceae: *Fragilária* (Lyngbye, 1819); *Diatóma* (Bory, 1824); *Synédra* (Ehrenberg, 1830); *Asterionélla* (Hassall, 1850)
 Tabellariales
 Tabellariaceae: *Tabellária* (Ehrenberg, 1840)
 Bacillariophyceae
 Mastogloiales
 Mastogloiaceae: *Aneumástus* (D. G. Mann et Stickle, 1990)
 Cymbellales
 Cymbellaceae: *Cymbélla* (C. Agardh, 1830)
 Gomphonemataceae: *Gomphonéma* (Ehrenberg, 1832)
 Naviculales
 Amphipleuraceae: *Amphipléura* (Kützing, 1844)
 Neidiaceae: *Neídium* (Pfitzer, 1871)
 Pinnulariaceae: *Pinnulária* (Ehrenberg, 1843)
 Naviculaceae: *Navícula* (Bory, 1822)

Pleurosigmataceae: *Gyrosigma* (Hassall, 1845)
 Stauroneidaceae: *Stauroneis* (Ehrenberg, 1843)
 Thalassiophysales
 Catenulaceae: *Amphora* (Ehrenberg et Kützing, 1844)
 Bacillariales
 Bacillariaceae: *Bacillaria* (Gmelin, 1791); *Nitzschia* (Hassall, 1845)
 Surirellales
 Surirellaceae: *Cymatopleura* (W. Smith, 1851)
 Chlorophyta
 Chlorophyceae
 Volvocales
 Volvocaceae: *Eudorina* (Ehrenberg, 1832): *Eudorina elegans* (Ehrenberg);
Vólvox (Linnaeus, 1758, Ehrenberg, 1830): *Vólvox globator* L., *Vólvox aureus*
 (Ehr.); *Pandorina* (Bory de Saint-Vincent, 1824): *Pandorina morum* (Bory de
 Saint-Vincent, 1824)
 Chlorococcales
 Hydrodictyaceae: *Pediastrum* (Meyen, 1829): *Pediastrum boryanum* (Tur-
 pin), *Pediastrum duplex* (Meyen), *Pediastrum simplex* (Meyen)
 Hormotilaceae: *Palmodictyon* (Kützing, 1845)
 Oocystaceae: *Ankistrodésmus* (Corda, 1838): *Ankistrodésmus falcatus* (Ralfs)
 Scenedesmaceae: *Coelástrum* (Nägeli, 1849): *Coelástrum microsporum*
 (Naeg); *Scenedésmus* (Meyen, 1829): *Scenedésmus communis* (Hegew), *Scenedes-
 mus quadricauda* (Turpin), *Scenedesmus acuminatus* (Lager), *Scenedesmus
 acutus* (Meyen.)
 Oedogoniales
 Oedogoniaceae: *Oedogonium* (Link, 1820)
 Ulotrichales
 Ulotrichaceae: *Ulóthrix* (Kützing., 1833): *Ulóthrix subtilissima* (Rabenh),
Ulóthrix limnetica (Lemmermann), *Ulóthrix zonata* (Web.et Mohr, Kutz.)
 Conjugatophyceae (Margulis et al., 1990)
 Zygnematales
 Zygnemataceae: *Mougeótia* (C. Agardh, 1824); *Spirogyra* (Link, 1820): *Spi-
 rogyra longata* (Kütz)
 Desmideales
 Desmidiaceae: *Pleurotaénium* (Nägeli, 1849); *Staurodésmus* (Teiling, 1948):
Staurodésmus incus (Breb., Teil.), *Staurodésmus paradoxum* (Meyen), *Stauro-
 désmus gracile* (Ralfs); *Hyalothéca* (Ehrenberg, 1840): *Hyalothéca mucosa* (Mert.,
 Her.); *Desmídium* (C. Agardh, 1824): *Desmídium swartzii* (Ag.); *Staurástrum*
 (Meyen, 1828)
 Peniaceae: *Clostérium* (Nitzsch, 1817): *Clostérium dinae* (Ehr.), *Clostérium
 moniliferum* (Bory, Ehrenb.), *Clostérium intermedium* (Roy et Biss); *Pénium*
 (Brébisson, 1844): *Pénium cylindrus* (Ehrtnb., Breb.)
 Dinophyta
 Dinophyceae

Peridinales
Ceratiaceae: *Cerátium* (Schrank, 1793): *Cerátium hirudinella* (O. F. M., Bergh)
Chrysophyta
Chrysophyceae
Chromulinales
Chromulinaceae: *Urogléna* (Ehrenberg, 1834): *Urogléna volvox* (Her.)
Dinobryaceae: *Dinóbryon* (Ehrenberg, 1834): *Dinóbryon elegans* (Korsch.)
Synurophyceae
Synurales
Synuraceae: *Synúra* (Ehrenberg, 1834): *Synúra uvella* (Ehr. Emend. Korsch.)
Euglenophyta
Euglenophyceae
Euglenales
Euglenaceae: *Euglena* (Ehrenberg, 1830): *Euglena intermedia* (G. A. Klebs);
Phacus (Duj.): *Phacus longicauda* (Duj.)

Библиографический список

1. Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. Водоросли: справочник. Киев : Наукова думка, 1989. 604 с.
2. Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М. : Университет и школа, 2003. 157 с.
3. Барина С. С., Медведева Л. А. Атлас водорослей-индикаторов сапробности (российский Дальний восток). Владивосток : Дальнаука, 1996. 364 с.

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ПЛАНКТОННОЙ АЛЬГОФЛОРЫ РЕКИ СЕХА ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА

А. С. Дюкова, Э. В. Марамохин, С. А. Бутенина, Е. А. Сосновикова
Костромской государственный университет,
annadyukova.kgu@mail.ru; kaf_bio@ksu.edu.ru

В статье освещаются результаты исследования планктонной альгофлоры реки Сехи Государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына; приведены таксономический анализ фитопланктона, данные по численности и биомассе; составлен флористический список обнаруженных водорослей.

Ключевые слова: Государственный природный заповедник «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына, малые реки, фитопланктон, альгофлора, водоросли.

Сбор проб фитопланктона проводили в 2015 и в 2021 годах на территории Государственного природного заповедника «Кологривский лес»

им. М. Г. Сеницына в различных участках течения реки Сехи. Пробы фитопланктона отбирали путем фильтрации 50 л воды через планктонную сеть. Обработку проб осуществляли в фиксированном виде под микроскопом по общепризнанным методикам [1, 2].

Река Сеха имеет длину 34 км, площадь водосборного бассейна – 198 км². Длина реки в пределах заповедника составляет 20,5 км. Она протекает в северном направлении по территории Парфеньевского и Кологривского районов Костромской области. Ширина реки колеблется от 4 до 7 метров, глубина составляет от 0,3 до 1 метра. Температура воды у поверхности в летний период составляла 15–16 °С, у дна – около 14 °С. Вода прозрачная. Прибрежные участки зарастают макрофитами [3].

Всего за период исследований в реке Сехе обнаружено 52 рода планктонных водорослей, относящихся к 6 отделам. Наибольшее число родов – 24 – отмечено в отделе Bacillariophyta, в отделе Chlorophyta насчитывается 15 родов, в отделе Cyanophyta – 8 родов, в отделе Xanthophyta – 3 рода, в отделе Euglenophyta и Chrysophyta – по 1 роду в каждом (рис. 1).

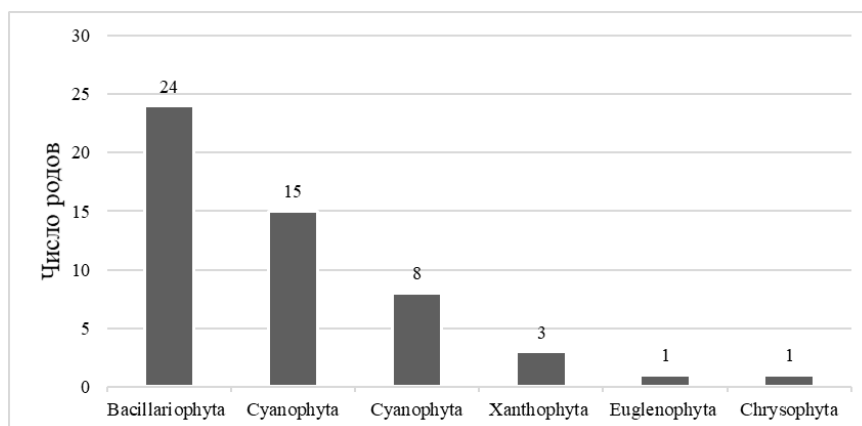


Рис. 1. Качественный состав фитопланктона реки Сехи за период 2015–2021 гг.

В 2015 г. исследования проведены в летний и осенний периоды. В июне 2015 г. в реке Сехе определено 30 родов фитопланктона, относящихся к 4 отделам, из которых диатомовые составили 18 родов, зеленые – 7 родов, сине-зеленые – 4 рода, золотистые – 1 род. В сентябре 2015 г. в реке Сехе обнаружено 28 родов фитопланктона, относящихся к 5 отделам, из которых диатомовые составили 14 родов, зеленые – 7 родов, сине-зеленые – 3 рода, желто-зеленые – 3 рода, эвгленовые – 1 род.

В 2021 г. исследования проведены только в летний период. Выявлено 25 родов водорослей, относящихся к трем отделам: диатомовые – 14 родов, зеленые – 9 родов и сине-зеленые – 2 рода (рис. 2).

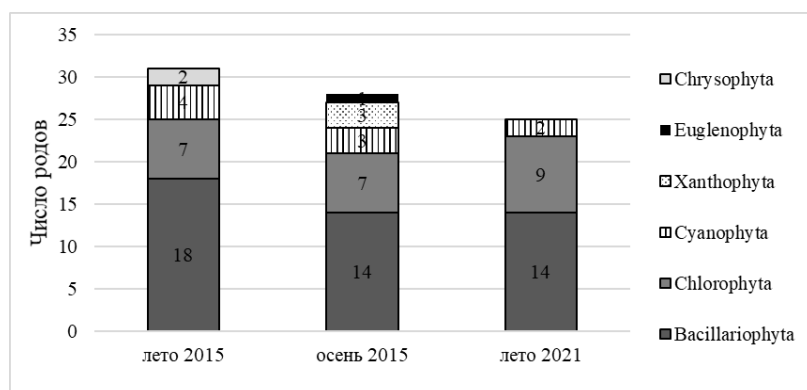


Рис. 2. Динамика качественного состава фитопланктона реки Сехи за период 2015–2021 гг.

Кроме исследования биоразнообразия, определены количество клеток водорослей в 1 литре воды и биомасса фитопланктона в 1 кубическом метре воды. В летний период 2015 г. среднее количество клеток фитопланктона в реке Сехе составляло 2772 кл/л, в осенний период 2015 года – 7154 кл/л. Такое увеличение численности связано со значительным ростом числа одиночных и колониальных диатомовых водорослей, которые устойчивы к понижению температуры. Летом 2021 г. количество клеток фитопланктона заметно снизилось и составило всего 682 кл/л. Такое изменение могло быть связано с погодными условиями в период отбора проб. Наибольшей численностью во все периоды исследования отличались представители отдела Bacillariophyta. Биомасса фитопланктона в летний период 2021 года составляла 499,8 мг/м³. Причем основной вклад в биомассу фитопланктона внесли представители отдела Chlorophyta (70%), что связано с их большими размерами, водоросли отдела Bacillariophyta составили около 25% общей биомассы, а на долю представителей Cyanophyta приходилось всего 5%.

Ниже приведен конспект обнаруженных представителей альгофлоры реки Сеха.

Cyanophyta

Cyanophyceae

Chroococcales

Merismopediaceae: *Merismopedia* (Meyen, 1839): *Merismopedia elegans* (A. Br.)

Microcystaceae: *Microcystis* (Lemmermann, 1907): *Microcystis aeruginosa* (Kütz. emend. Elenk), *Microcystis pulveria* (Wood Forti emend. Elenk); *Gloeocapsa* (Kützing, 1843)

Chroococcaceae: *Chroococcus* (Nägeli, 1849)

Oscillatoriales

Phormidiaceae: *Phormidium* (Kützing, 1843, Gomont, 1892); *Spirulina* (Turpin, 1829) Gomont, 1892

Oscillatoriaceae: *Oscillatoria* (Vaucher, 1803, Gomont, 1832)

Nostocales

Nostocaceae: *Anabaéna* (Bory, 1822, Bornet et Flahult, 1886): *Anabéna var-
 iabilis* (Kutz.), *Anabéna spiroides* (Kleb.)
 Bacillariophyta
 Coscinodiscophyceae
 Melosirales
 Melosiraceae: *Melosíra* (C. Agardh, 1824)
 Fragilariophyceae
 Fragilariales
 Fragilariaceae: *Fragilária* (Lyngbye, 1819); *Diatóma* (Bory, 1824); *Synédra*
 (Ehrenberg, 1830); *Asterionélla* (Hassall, 1850)
 Tabellariales
 Tabellariaceae: *Tabellária* (Ehrenberg, 1840)
 Aulacoseirales
 Aulacoseiraceae: *Aulacoseria* (G. H. K. Thwaites, 1848)
 Bacillariophyceae
 Mastogloiales
 Mastogloiaceae: *Aneumástus* (D. G. Mann et Stickle, 1990)
 Cymbellales
 Cymbellaceae: *Cymbélla* (C. Agardh, 1830)
 Gomphonemataceae: *Gomphonéma* (Ehrenberg, 1832)
 Naviculales
 Amphipleuraceae: *Amphipléura* (Kützing, 1844)
 Pinnulariaceae: *Pinnulária* (Ehrenberg, 1843)
 Naviculaceae: *Navícula* (Bory, 1822); *Caloneis* (Cl., 1984)
 Pleurosigmataceae: *Gyrosígma* (Hassall, 1845)
 Stauroneidaceae: *Stauróneis* (Ehrenberg, 1843)
 Rhopalodiales
 Rhopalodiaceae: *Epithemia* (Kützing, 1844)
 Achnanthes
 Achnanthaceae (Kutz): *Achnanthes* (Saint-Vincent, 1822)
 Cocconeidaceae: *Cocconeis* (Ehrenberg, 1837)
 Thalassiophysales
 Catenulaceae: *Ámphora* (Ehrenberg et Kützing, 1844)
 Bacillariales
 Bacillariaceae: *Bacillária* (Gmelin, 1791), *Nitzschia* (Hassall, 1845)
 Surirellales
 Surirellaceae: *Cymatopléura* (W. Smith, 1851); *Surirella* (Turpin)
 Chlorophyta
 Siphonocladophyceae
 Cladophorales
 Cladophoraceae: *Cladophora* (Kutz.)
 Chlorophyceae
 Volvocales

Volvocaceae: *Eudorina* (Ehrenberg, 1832): *Eudorina elegans* (Ehrenberg); *Gonium* (Müller); *Vólvox* (Linnaeus, 1758, Ehrenberg, 1830): *Vólvox globator* L., *Vólvox aureus* (Ehr.)

Chlorococcales

Hormotilaceae: *Palmodictyon* (Kützing, 1845)

Chlamydomonadales

Chlorococcaceae: *Chlorococcum* (Meneghini)

Ulotrichales

Ulotrichaceae: *Ulóthrix* (Kützing, 1833): *Ulóthrix zonata* (Web. et Mohr, Kutz.)

Conjugatophyceae (Margulis et al., 1990)

Zygnematales

Zygnemataceae: *Zygnema* (Agardh); *Mougeótia* (C. Agardh, 1824); *Spirogyra* (Link, 1820): *Spirogyra longata* (Kütz)

Desmideales

Desmidiaceae: *Hyalothéca* (Ehrenberg, 1840): *Hyalothéca mucosa* (Mert., Her.)

Mesotaeniaceae: *Spirotaenia* (Breb.)

Peniaceae: *Clostérium* (Nitzsch, 1817): *Clostérium dinae* (Ehr.), *Clostérium moniliferum* (Bory, Ehrenb.), *Clostérium turgidum* (Ehrenb.), *Clostérium lineatum* (Ehrenb.), *Clostérium acerosum* (Schr.) Ehrenb., *Clostérium parvulum* (Näg); *Pénium* (Brébisson, 1844): *Pénium spirostrialatum* (Barker); *Euastrum* (Ehrenb.): *Euastrum oblongum* (Grev.) Ralfs.

Chrysophyta

Chrysophyceae

Chromulinales

Dinobryaceae: *Dinóbryon* (Ehrenberg, 1834): *Dinóbryon elegans* (Korsch.)

Euglenophyta

Euglenophyceae

Euglenales

Euglenaceae: *Euglena* (Ehrenberg, 1830): *Euglena intermedia* (G.A.Klebs)

Xanthophyta

Xanthophyceae

Vaucheriales

Vaucheriaceae: *Vaucheria* (de Candolle, 1805)

Tribonematales

Tribonemataceae: *Tribonema*, (Derb. et Sol., 1851)

Xanthonemataceae: *Xanthonema* (P. C. Silva)

Библиографический список

1. Современные методы измерения и оценка распределения морского планктона / И. Н. Суханова, М. Е. Виноградов, И. И. Гительзон, Л. А. Левин. М. : Наука, 1983. С. 97–105.
2. Федоров В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. М. : Изд-во Московского университета, 1979. 168 с.

3. Механизмы поддержания биологического разнообразия биоценозов в бассейнах малых рек, сохранение редких видов биотехнологическими методами / Научно-исследовательский отчет. Кострома, 2016. 109 с.

МОНИТОРИНГ АЛЬГОФЛОРЫ ПЛАНКТОНА ПОЙМЕННОГО ОЗЕРА

Л. В. Кондакова^{1,2}, Е. В. Дабах^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет, ecolab2@gmail.com*

² *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН*

В течение 8 лет изучался состав альгофлоры пойменного озера, расположенного на территории, подверженной техногенному воздействию, в долине р. Вятки. Доминирование зеленых водорослей и отсутствие некоторых характерных для водоемов умеренного климата фототрофов (динофитовых водорослей, цианобактерий) указывает на загрязнение водоема. Наиболее постоянный состав доминантов выявлен в глубинных, редко смываемых слоях озера.

Ключевые слова: альгофлора, пойменное озеро, техногенное загрязнение.

Исследования проводились в районе г. Кирово-Чепецка Кировской области в пойме р. Вятки в среднем ее течении на территории, испытывающей техногенную нагрузку. Техногенное воздействие проявлялось в поступлении загрязненных подземных вод, в солевом составе которых преобладает нитрат аммония [1].

Пробы воды из озера отбирали с помощью батометра в одно и то же время – в конце лета. Для изучения фитопланктона использовали метод отстаивания: 0,5 литра пробы воды из водоема помещали в бутылку и фиксировали 2 мл 40% формалина до появления устойчивого запаха. Вода отстаивалась 15–20 дней, планктон в это время осаждался. Воду отсасывали из середины бутылки сифоном, при этом планктон оставался на дне. Видовой состав фитопланктона определяли под микроскопом, используя отечественные и зарубежные определители.

Озеро имеет характерную серповидную форму. Несмотря на довольно большую глубину (до 8 м) оно почти ежегодно в паводок промывается до дна. Граница повышенной минерализации воды, обусловленная поступлением загрязненных подземных вод, в послепаводковый период начинает подниматься к поверхности. К концу лета, как правило, нижние слои на глубине 5 и 7 м характеризуются высокой степенью минерализации. Однако, как видно из таблицы 1, это не всегда сопровождается соответствующим снижением видового разнообразия альгофлоры фитопланктона.

Таблица 1

Динамика видового разнообразия альгофлоры за годы наблюдений

Глубина отбора проб, м	Количество видов водорослей							
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
0,05	8	19	11	14	15	8	8	18
2,5 м	н. о.	9	9	н. о.	н. о.	8	9	18
5 м	н. о.	н. о.	н. о.	8	13	н. о.	4	14
7 м	н. о.	1	9	8	4	10	13	8

Примечание: н. о. – не определялось.

В 2021 г. было выявлено закономерное распределение показателя по глубине: резкое возрастание минерализации воды на глубине 7 м (более чем в 100 раз) сопровождалось двукратным снижением видового разнообразия (табл. 1). В 2021 г. видовое разнообразие в озере в целом составляло 23 вида.

Наибольшее видовое разнообразие, как и в прошлые годы, представлено зелеными водорослями, толерантными к азотному загрязнению (16 видов или 69,6%). В 2017 г. в поверхностных и глубинных водных пробах в числе доминантов были отмечены динофитовые (*Dinobryon divergens*) и диатомовые водоросли, характерные для пойменных водоемов (табл. 2). В 2018 и 2019 гг. доминантами являлись только мелкоклеточные зеленые водоросли, толерантные к азотному загрязнению. В 2020 г. в составе доминирующего комплекса снова были отмечены диатомовые водоросли *Asterionella formosa*, *Nitzschia palea*, а в глубинных пробах – *Dinobryon divergens*. В 2021 г. видовой состав доминирующих видов, как и в 2018–2019 гг. был представлен только зелеными водорослями.

Таблица 2

Доминирующие виды водорослей в озере в 2017–2021 гг.

Глубина, м	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
0,05	<i>Dinobryon divergens</i> , <i>Synedra</i> sp.	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Crucigenia tetrapedia</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Keratococcus bicaudatus</i> , <i>Ankistrodesmus</i> sp.	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>Crucigenia tetrapedia</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>S. acuminatus</i> , <i>Crucigenia tetrapedia</i>
2,5	н. о.	н. о.	н. о.	<i>Nitzschia palea</i> , <i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>S. denticulatus</i>
5	<i>Dinobryon divergens</i>	<i>S. quadricauda</i> ,	<i>S. quadricauda</i> , <i>Ankistrodesmus</i> sp.	<i>Nitzschia palea</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i> , <i>Coelastrum microporum</i>
7	<i>S. quadricauda</i>	<i>S. quadricauda</i>	<i>S. quadricauda</i>	<i>S. denticulatus</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>Dinobryon divergens</i>	<i>S. quadricauda</i>

В 2021 г. из диатомовых было встречено 3 вида: *Nitzschia* sp., *Tabellaria* sp., *Navicula* sp. Также были отмечены представители эвгленовых водорослей (*Euglena* sp., *Trachelomonas* sp., *Peridinium* sp.), характерные для водоемов, загрязненных органическими веществами. Эти вещества могут появиться в результате увеличения массы разлагающейся водной растительности или поступления загрязнения со стоками. Однозначно диагностировать органическое загрязнение можно при массовом развитии эвгленовых водорослей. В настоящее время они встречаются единично. Из динофитовых водорослей – индикаторов чистых вод – был отмечен *Peridinium* sp. Цианобактерии были отмечены только в одной пробе, отобранной с глубины 2,5 м. Их отсутствие или слабое развитие обусловлено избытком азота в среде. Не было встречено представителей отдела Chrysophyta, широко распространенных в водоемах умеренного климата.

Таким образом, многолетний мониторинг пойменного озера показал, что видовой состав альгофлоры является индикатором экологического состояния водоема. Доминирование зеленых водорослей и отсутствие некоторых характерных для водоемов умеренного климата отделов водорослей указывает на загрязнение водоема. В то же время пойменный режим, способствующий ежегодному промыванию водоема на разную глубину, влияет на состав доминантов: он наиболее постоянный в придонном, наиболее редко смываемом слое воды.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги».

Библиографический список

1. Загрязнение природных сред вблизи системы водоотведения Кирово-Чепецкого химического комбината / Г. В. Дружинин, А. П. Лемешко, В. В. Синько, Т. А. Ворожцова, В. А. Нечаев // Региональные и муниципальные проблемы природопользования : материалы 9-й науч.-практ. конф. Киров, 2006. С. 125–127

МИКРОВОДОРОСЛИ *ACUTODESMUS OBLIQUUS* В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛОВ

А. В. Гогонин, Т. Н. Щемелинина, Е. М. Анчугова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, algogonin@gmail.com

Проведен эксперимент в аэротенках на станции биологической очистки АО «Монди СЛПК» г. Сыктывкар. Культивированная на питательной среде Люка биомасса микроводорослей вносилась непосредственно в сточную воду аэротенков. Наблюдалось снижение содержания фенолов в сточной воде на 85,9%.

Ключевые слова: сточная вода, аэротенки, микроводоросли, фенолы, очистка.

Загрязнение воды на целлюлозно-бумажном производстве происходит вследствие применения водных ресурсов практически во всех процессах производства бумажных и картонных продуктов – от окорки (под сильным напором водой убирают кородревесные отходы с балласта) до производства волокнистых полуфабрикатов и отбелики бумажной массы [1]. Некоторое количество водных ресурсов используется вторично на технологические нужды и охлаждение, но большая часть отводится на очистные сооружения, а затем в аэротенки. Кроме этого, на станцию биологической очистки АО «Монди СЛПК» поступают сточные воды коммунального хозяйства. Снижение биогенных веществ ассимилируются биоценозом активного ила (микроскопических грибов, бактерий, микроводорослей, простейших и червей) [2].

Целью исследования была оценка биотехнологического потенциала микроводорослей *Acutodesmus obliquus* (Turpin) Hegewald & Hanagata в отношении фенолов сточной воды аэротенков станции биологической очистки АО «Монди СЛПК».

Микроводоросли *A. obliquus* были выделены из биомассы активного ила аэротенков биологической очистки сыктывкарского лесопромышленного комплекса. Клетки штамма зеленого цвета, одиночные, имеющие эллипсоидную форму, их диаметр составляет от 4 до 15 мкм. Штамм *A. obliquus* был депонирован в 2012 г. в Коллекции микроводорослей Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН (IPPAS) с инвентарным номером Syko-A Ch-055-12.

Культивирование автохтонных микроводорослей *A. obliquus* проводили на питательной среде Люка. Данная среда по составу является полусинтетической, так как состоит из глауконита и стабилизированного птичьего помета [3]. Среда Люка по консистенции является жидкой. Применение этой среды является оптимальным, поскольку культивирование микроводорослей и их периодическое внесение в сточную воду аэротенков будет нерентабельным в случае использования аналогов синтетических питательных сред, так как объем сточных вод, поступающих в аэротенки, достигает около 300 тыс. м³/сут. [4] и вносить биомассу в них необходимо в достаточно больших количествах.

Исследования по деградации фенольных соединений культурами микроводорослей начались в 1979 г. Исследования Vuikema et al. [5] показали, что небольшие концентрации фенолов способствовали ускорению роста культуры микроводорослей. Кроме того, в исследовании использовали метод радиоактивной метки, при помощи которой подтвердилась гипотеза о деградации фенолов как источника углерода при культивировании микроводорослей, и при этом выделялся диоксид углерода. Ключевыми ферментами, которые участвуют в деградации фенолов, являются монооксигеназы, диоксигеназы, гидролазы и пероксидазы [6, 7].

Культуру стационарной фазы роста вносили непосредственно в аэротенки через преаэратор II ступени. В ходе эксперимента, содержание фенолов

в сточной воде снижалась до 85,9% в среднем. Максимальные значения снижения фенолов достигали 92,4% (рис.).

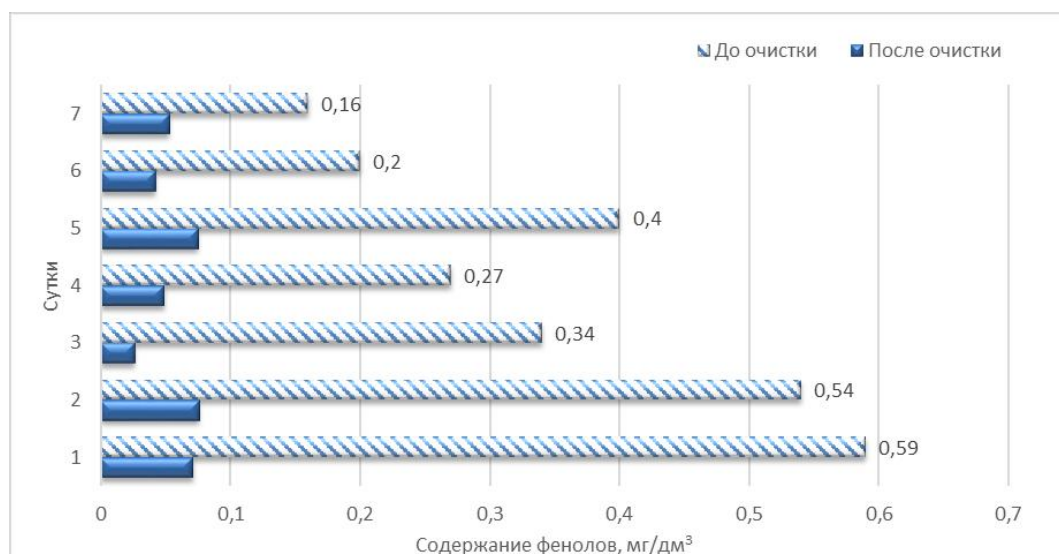


Рис. Динамика снижения фенолов в сточной воде

По окончании эксперимента эффективность очистки стоков от фенольных соединений составила около 73%, при этом были зафиксированы минимальные концентрации фенолов в поступающих сточных водах.

Авторы выражают благодарность сотрудникам экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН за проведение химических анализов образцов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания «Научно-обоснованные биотехнологии для улучшения экологической обстановки и здоровья человека на Севере» № 1021051101411-4-1.6.23.

Библиографический список

1. Вураско, А. В., Агеев М. А., Агеев А. Я. Технологии получения, обработки и переработки бумаги и картона : учебное пособие. Екатеринбург : Издательство учебно-методический центр УПИ, 2021. 276 с.

2. Жердев В. Н., Студеникина Л. Н., Шелкунова М. В. Видовой состав активного ила из аэротенков ЛОС // Модели и технологии природообустройства (Региональный аспект). 2016. С. 34–39.

3. Патент RU 2556126 Питательная среда люка для культивирования микроводорослей / А. В. Михайлюк, Т. Н. Щемелинина, Е. М. Анчугова; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. заявл. 09.01.2014. опубл. 10.07.2015. Бюл. № 19.

4. Сыктывкарский ЛПК: решение проблем очистки сточных вод / А. И. Щетинин, Ю. В. Костин, Е. Л. Андреев, М. А. Есин, Б. Ю. Малбиев, Е. В. Демяненко, В. А. Юрченко // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 11. С. 34–38.

5. Buikema A. L., McGinniss M., Cairns J. Phenolics in aquatic ecosystems: A selected review of recent literature // Marine Environmental Research. 1979. Vol. 2. No. 2. P. 87–181. doi: 10.1016/0141-1136(79)90006-0

,6. Biological removal of phenol from wastewaters: a mini review / N. V. Pradeep, S. Anupama, K. Navya, H. N. Shalini, M. Idris, U. S. Hampannavar // Applied Water Science. 2015. Vol. 5. P. 105–112. doi: 10.1007/s13201-014-0176-8

7. An overview of immobilized enzyme technologies for dye and phenolic removal from wastewater / L. Y. Jun, L. S. Yon, N. M. Mubarak, C. H. Bing, S. Pan, M. K. Danquah, E. C. Abdullah, M. Khalid // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2019. Vol. 7. No. 2. P. 1–14. doi: 10.1016/j.jece.2019.102961

УСЛОВНО-ПАТОГЕННАЯ МИКОБИОТА АНТРОПОГЕННО-ПРЕОБРАЗОВАННЫХ ПОЧВ ВОРОНЕЖА

Н. Н. Назаренко¹, И. Д. Свистова²

¹ *Воронежский государственный аграрный университет, talalajko@mail.ru*

² *Воронежский государственный педагогический университет*

В статье приведены результаты многолетнего микологического мониторинга почв разных функциональных зон г. Воронежа. Выявлены заметные нарушения видового состава и структуры микобиома почв с разным уровнем загрязнения. Определена доля условно-патогенных и аллергенных видов в общем микокомплексе. Показана роль условно-патогенных микромицетов в формировании агрессивной, опасной для здоровья горожан среды. Полученные данные можно использовать при проведении урбомикологического мониторинга.

Ключевые слова: городские почвы, микробиом, условно-патогенные микромицеты, аллергенные микромицеты.

Важным элементом урбоэкосистемы является почва она во многом определяет качество городской среды и здоровья населения. Все большее внимание исследователей привлекают вопросы диагностики, классификации и определения уровня загрязнения антропогенно-преобразованных почв в городах России и зарубежных стран [1, 2].

В городских почвах, длительно испытывающих весь спектр антропогенного воздействия, создаются предпосылки не только для накопления химических поллютантов, но и развития санитарно-опасных микроорганизмов. Обычно для биомониторинга используют показатели численности бактерий кишечной палочки. Многие авторы отмечают, что серьезную экологическую опасность представляют и мицелиальные организмы (микромицеты, актиномицеты). В последние годы в Федеральный государственный реестр методик, допущенных для целей государственного экологического контроля внесена новая «Биодиагностика состояния почв с использованием водорослей, цианобактерий и микромицетов» [3].

В ряде исследований показано, что усиление антропогенных воздействий на окружающую среду, становится причиной основных изменений в микокомплексе, в частности возрастает доля условно-патогенных (потенци-

ально патогенных, аллергенных) видов на урбанизированных территориях [4–6]. В группу условно-патогенных грибов входят как сапротрофы, так и патогены растений, которые могут вызывать заболевания у людей, страдающих различными формами иммунодефицита или имеющих первичные заболевания. В процессе пассивного или активного рассеивания грибные споры подхватываются токами воздуха и вместе с пылью могут распространяться на большие расстояния. Условно-патогенные грибы обладают высоким репродуктивным потенциалом, мелким размером спор, легко могут попасть на поверхность тела или в организм человека респираторным путем, провоцируя риск заболеваний вторичными микозами и микогенными аллергиями [7]. Доказано, что длительный контакт практически здоровых людей с микромицетами родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* может вызвать аллергические реакции типа бронхиальной астмы, сенной лихорадки и т. п. [8].

Оценка состояния почвы, как важнейшего объекта среды обитания городского населения, весьма актуальна не только с точки зрения экологии, но и для санитарно-гигиенических обследований. Учитывая пониженный иммунный статус городского населения, крайне важна оценка присутствия условно-патогенных микромицетов. В литературе немногочисленны работы по изучению структуры комплексов микромицетов и актиномицетов в почве малых городов и крупных мегаполисов [9, 10]. Систематических исследований по изучению микробного сообщества почвы в городах Центрального Черноземья не проводилось. Имеются лишь единичные научные работы по оценке риска для здоровья населения в результате воздействия комплекса экологических факторов [11].

Целью работы была оценка нарушений структуры микобиома почв в экосистеме промышленного центра Черноземной зоны Воронежа. Особое внимание уделяли распределению условно-патогенных видов. В настоящей работе авторы провели оценку направленности сукцессии микобиома по результатам многолетнего мониторинга (2003–2020 гг.).

Микологические исследования проводили на территории г. Воронежа, разделенной на функциональные зоны, общепринятые при изучении городских почв. Почвы – антропогенно-преобразованные зональные черноземы. Контрольные участки выбирали в естественных условиях с идентичным типом почв (пригородная зона).

Выделение микроскопических грибов проводили методом серийных разведений и посева почвенных суспензий на среду Чапека по традиционной в почвенной микробиологии методике. Идентификацию видового состава почвенной микобиоты проводили по культурально-морфологическим признакам, используя общепринятые определители для разных классов (Милько А. А., 1974; Кириленко Т. С., 1977; Билай В. И., 1988; Ellis M. V., 1980). Токсигенные и условно-патогенные считали согласно определителям (Кашкин П. Н., 1979; Билай В. И., 1990; Саттон и др., 2001). Типичные виды грибов выделяли на основании критериев пространственной и временной встречаемости (Мирчинк, 1988).

Ранее нами проведено комплексное эколого-геохимическое обследование почв различных функциональных зон на содержание основных загрязняющих веществ (тяжелые металлы, нефтепродукты, бенз[а]пирен) [12, 13]. Обнаружено, что в рекреационной и селитебной зонах среднее содержание нефтепродуктов и тяжелых металлов (ТМ) выше региональных фоновых значений, но ниже ПДК (ОДК). В промышленной и селитебно-транспортной зонах в 43% почвенных проб концентрация нефтепродуктов превышает ОДК в 1,2–3,0 раза. Вблизи крупных транспортных развязок отмечено превышение ПДК по подвижным формам ТМ первого класса опасности (по кадмию более чем в 2 раза, по свинцу – до 7 раз). Отмечено превышение по бенз[а]пирену в промышленной и транспортной зонах города по сравнению с контролем в 3–6 раз. По суммарному показателю загрязнения почв около 72% исследованных участков соответствует допустимому уровню, 21% находится в умеренно опасной зоне и 7% относится к опасному уровню загрязнения.

Загрязнение урбопочв исследуемых зон привело к нарушению состава и структуры микроскопических грибов по сравнению с контролем. В ходе исследования из зональных черноземов и антропогенно-нарушенных почв г. Воронежа было выделено 75 изолятов грибов, относящихся к 22 родам.

В контроле в комплекс типичных видов чернозема входили эвритопные и стенотопные виды микромицетов: *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb. ex Link) Lind; *Chaetomium piluliferum* Daniels; *Aspergillus alliaceus* Thom. et Church.; *A. candidum* Link; *A. ustus* (Bain) Thom. et Church.; *A. wentii* Wehmer; *Penicillium expansum* Link.; *P. funiculosum* Thom.; *P. simplicissimus* (Oud.) Thom.; *P. tardum* Thom.; *Paecilomyces lilacinum* Thom.; *Acremonium alternatum* Lk. ex Fries; *Cephalosporium acremonium* Corda; *Botrytis cinerea* Persoon ex Fries; *Sporotrichum piluliferum* Link et Fries; *Trichoderma koningii* Oudem; *Gliocladium virens* Miller, Giddens et Foster; *Humicola grisea* Traaen; *Fusarium solani* (Mart) Appl. et Wr. Кроме того, более 20 видов грибов выделены из контрольной почвы в ранге случайных.

В почвах рекреационной зоны с низким уровнем загрязнения обнаружена незначительная перегруппировка типичных видов грибов по частотам встречаемости, обусловленная как общегородским загрязнением, так и влиянием близко расположенных автомагистралей. Не выделялись виды *A. alternatum*, *P. expansum*, *T. koningii*, *S. piluliferum*. Появились нехарактерные для контроля виды: в ранге доминантов – *Botryotrichum piluliferum* Sacc et March., в ранге редко встречающихся – *Aspergillus clavatus* Desmaz и *Fusarium sambucinum* Schltdl.

В селитебной зоне города со средним уровнем загрязнения, которая не отделена санитарной зоной от промышленных предприятий и расположена в непосредственной близости от городских автомагистралей и ТЭЦ, обнаружено сокращение видового богатства и упрощение структуры комплекса микромицетов. В ранге доминантов сохранялись *F. solani* и *R. stolonifer*, а *P. tardum* переходил в ранг часто встречающихся видов вместе с *Talaromyces flavus*

(Klocker) Stolck et Samson, *Trichoderma harzianum* Rifai, *Aspergillus niger* Van Teighem, *Penicillium canescens* Sopp и *Fusarium sambucinum* Berk. et Curt., которые в контроле были случайными. Также выделялись виды, не характерные для контроля: в ранге типичных редких – *B. piluliferum* и *Aspergillus ochraceus* Wilhelm., часто встречающихся – *G. virens*, *Stachybotrys chartarum* (Ehrenb. ex Link) Hugnes и темноокрашенные формы стерильного мицелия.

В транспортной и промышленной зонах города урбаноземы имеют высокий и опасный уровень загрязнения. Нами обнаружено резкое снижение видового богатства микромицетов за счет элиминации редких и случайных видов. Вблизи оживленных городских автомагистралей и промышленных предприятий наблюдалась практически полная смена видового состава микромицетов. Большинство доминантов и часто встречающихся в контроле видов переходили в ранг случайных или вообще не выделялись. Ряд случайных в контроле видов грибов, напротив, повышали свой ранг доминирования. Из урбаноземов были выделены виды: *A. clavatus*, *A. ochraceus*, *T. flavus*, а также *A. fumigatus* Sacc. et March., *Penicillium versicolor* Tirab., *P. viridicatum* Westling, *Paecilomyces farinosum* (Holm ex Gray) A. Brown, *Fusarium nivale* (Fr.) Ces., которые в контроле не выделены. Эти заносные виды успешно внедрялись в нарушенный комплекс почвенных микромицетов наиболее загрязненных городских зон. Кроме того, отмечено присутствие большого количества темноокрашенных грибов родов *Alternaria* и *Cladosporium*.

Для выяснения экологической направленности сукцессии почвенных грибов мы оценили долю условно-патогенных микромицетов в комплексе типичных видов. Оказалось, что многие виды микромицетов, выделенные нами из культуроземов городских парков и урбаноземов селитебно-транспортной и промышленной зоны, представляет опасность для здоровья городского населения. Так, в почве транспортной зоны эти значения достигали почти 100%. Согласно Атласу патогенных и условно патогенных грибов, 34% от общего числа идентифицированных видов можно отнести к условно-патогенным. В эту группу включены широко распространенные почвообитающие грибы рода *Aspergillus* (*A. niger*, *A. clavatus*, *A. ochraceus*, *A. fumigatus*), для которых доказана роль в развитии аспергиллезов легких, отомикозов, абсцессов, и многие виды рода *Penicillium* (*P. simplicissimus*, *P. notatum*, *P. funiculosum*, *P. viridicatum*), рода *Trichoderma* (*T. koningii*, *T. harzianum*), вызывающие аллергические реакции.

Таким образом, установленный нами рост частоты встречаемости и обилия условно-патогенных и аллергенных видов микромицетов в урбопочвах г. Воронежа, особенно в селитебно-транспортной зоне, представляет угрозу для здоровья городского населения. Полученные данные можно рекомендовать специалистам в области медицинской токсикологии использовать при проведении почвенного микологического мониторинга городской среды.

Библиографический список

1. Строганова М. Н., Мягкова А. Д., Прокофьева Т. В. Городские почвы, генезис, классификации, функции // Почва, город, экология / под общ. ред. Г. В. Добровольского. М., 1997. С. 15–88.
2. Norra S., Stuben D. Urban soil // J. Soils Sediments. 2003. Vol. 3. P. 230–233.
3. Биологический мониторинг природно-техногенных систем / под ред. Т. Я. Ашихминой, Н. М. Алалыкиной. Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 2011. 388 с.
4. Талалайко Н. Н. Микробиологическая индикация урбаноземов города Воронежа : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж. 2005. 23 с.
5. Марфенина О. Е., Макарова Н. А., Иванова А. Е. Оппортунистические грибы в почвах и приземных слоях воздуха мегаполиса (на примере района Тушино г. Москвы) // Микология и фитопатология. 2011. Т. 45. № 5. С. 397–407.
6. Свистова И. Д., Назаренко Н. Н., Корецкая И. И. Санитарно опасные мицелиальные микроорганизмы в почвах Воронежа // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 3. С. 247–250.
7. Грибы рода *Aspergillus*: распространение и условия накопления в разных природных средах (на примере Европейской части России) / О. Е. Марфенина, Е. Н. Бубнова, Т. А. Семенова, А. Е. Иванова, А. А. Данилогорская // Микология и фитопатология. 2014. Т. 48. № 3. С. 10–24.
8. Аак О. В. Аллергены грибов. Особенности микогенной сенсibilизации // Проблемы медицинской микологии. 2005. № 7 (2). С. 12–16.
9. Назаренко Н. Н., Свистова И. Д., Корецкая И. И. Структура комплекса почвенных актиномицетов в промышленной и транспортной зонах г. Воронежа // Экология урбанизированных территорий. 2015. № 3. С. 18–21.
10. Соловьева Е. С. Экологические особенности актиномицетных комплексов городских почв : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 2015. 22 с.
11. Интегральная оценка экологического состояния городской среды / С. А. Куролап, О. В. Клепиков, П. М. Виноградов, Л. А. Яблонских. Воронеж : Научная книга, 2015. 232 с.
12. Полициклические ароматические углеводороды в урбаноземах Воронежа / Н. Н. Назаренко, Н. В. Каверина, К. Е. Стекольников, И. Д. Свистова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2017. № 1. С. 92–97.
13. Technogenic geochemical abnormalities in the soils and bottom sediments of Voronezh / N. V. Kaverina, S. A. Kurolap, P. M. Vinogradov, T. V. Dubovitskaya, N. N. Nazarenko, R. A. Kondaurov // Revista Ingenieria UC. 2021. Vol. 28. No. 1. С. 83–96.

РАЗНООБРАЗИЕ ГРИБОВ РОДА *TRICHODERMA* ЗАПОВЕДНИКА «БОЛЬШАЯ КОКШАГА» РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ

Д. И. Милованкин^{1,2}, Р. М. Потехина¹, Э. А. Шуралев²
¹ ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», ramziyar@yandex.ru
² Казанский (Приволжский) федеральный университет,
millovankin17@yandex.ru

В статье рассматривается многообразие мицелиальных грибов рода *Trichoderma/Hypocrea* на территории заповедника Большая Кокшага. Проведена идентификация выделенных культур грибов. Дана оценка токсичности изолятов рода *Trichoderma* на животных.

Ключевые слова: мицелиальный гриб, идентификация, токсичность, Большая Кокшага, заповедник.

Несовершенные грибы рода *Trichoderma/Hypocrea* были изучены более 200 лет назад. Они имеют характерно узнаваемый пигментный облик. Колонии мицелия быстрорастущие, обильные с зелено-желтой пигментацией, в редких исключениях белое спороношение на мицелии. Первые описания рода *Hypocrea* были сделаны в 1825 г. Элиасом Фраем. За тридцать лет после исследований Бисби классификация и систематика *Trichoderma*, благодаря русскими микологами Пидопличко, Шкляр, Литвиновым, Александровой, была пересмотрена и дополнена новыми видами. Отмечена возможность применения грибов рода *Trichoderma* в сельском хозяйстве как экологически значимой ниши, способной перерабатывать фосфорорганические гербициды, такие как глифосад, цилиатин, инсектицид хлорперифос [1–8].

Микромицеты рода *Trichoderma* в мировой практике применяются для разработки биологических препаратов, исходя из высокого антагонистического потенциала, скорости роста и возможности культивирования в производственных условиях [3].

Полевые изоляты *Trichoderma*, благоприятно контактируют с растениями, с животным миром, взаимодополняя друг друга на одной территории, со слаженными симбиозом в природе [1–4, 7, 8].

Мицелиальные грибы *Trichoderma* имеют важное хозяйственное значение в связи с широким применением в сельском хозяйстве в качестве обработки растений и пахотных земель. *Trichoderma* являются продуцентами ферментов целлюлаз, хитиназ, серинзависимых протеиназ, пектиназ, ксиланаз, которые незаменимо используются в пищевой промышленности, в переработке отходов, в производстве моющих средств [8].

Цель исследования: изучить биоразнообразие мицелиальных грибов рода *Trichoderma* на территории заповедника Большая Кокшага.

Почвенные образцы для исследования отбирали в заповеднике Большая Кокшага, граничащем с городской местностью г. Йошкар-Ола Республики Марий Эл, вдоль реки Кокшага и в смешанных лиственно-хвойных лесах.

Исследования проведены в весенний период 2021 г. В ходе исследования 25 почвенных образцов были выделены изоляты грибов: *Trichoderma veride*, *T. harzianum*, *T. asperellum*. Микологический анализ проб проводили непосредственно после отбора почвенного субстрата.

Выделение чистых культур микромицетов рода *Trichoderma* проводили методом непосредственного пересева выросших колоний, путем перемещения с помощью микологического крючка паутинки гриба *Trichoderma* в питательную среду Чапека и Сабуро.

Для определения морфологических признаков частицы мицелия грибов рода *Trichoderma* со спороношением помещали на предметное стекло и добавляли каплю фиксирующей жидкости. Приготовленный препарат накрывали покровным стеклом и проводили исследование с помощью микроскопа

Olympus CX-41 с программным обеспечением с увеличением окуляра и объектива 10× и 40×. Идентификацию изолятов по морфологическим признакам проводили с помощью атласов-определителей микроскопических грибов [1].

Для определения наличия токсичности выделенных культур грибов применяли кожную пробу на лабораторных животных (кроликах-альбиносах) упрощенным способом. Для этого снимали мицелиальную пленку гриба, выросшего на питательной среде, растирали до кашицеобразного состояния и стеклянной палочкой наносили на кожу кролика (выстриженный участок). Результаты оценивали по состоянию кожного покрова. Изолят считали нетоксичным при отсутствии признаков воспалительной реакции. Наличие гиперемии, сохраняющейся не более 2-х суток после повторного нанесения экстракта и не сопровождающейся шелушением кожи, расценивали как отрицательную реакцию. Изолят считали токсичным при следующих признаках воспаления: гиперемия, сохраняющаяся более 3 суток и после повторного нанесения экстракта на кожу, шелушение, болезненность, уплотнение или отечность кожи, наличие точечных капиллярных кровоизлияний. Также токсичность определяли экспресс-методом с помощью инфузорий.

В ходе эксперимента было исследовано более 25 почвенных образцов в окрестностях заповедника «Большая Кокшага».

Образцы проб упаковывали в zip-пакеты и хранили в холодильнике при 4 °С. В первичных посевах субстрат отобранных проб высевали на среды Чапека и Сабуро, наблюдая общую микологическую картину. Посевы микромицет инкубировали при 25 °С в течение 7 суток. Влажность в термостате определяли по психрометру Августа. В течение всего периода инкубации влажность составляла 82–83%. Выделение чистых культур полевого изолята рода *Trichoderma* проводили методом непосредственного пересева выросших колоний.

Из 25 исследуемых образцов более чем в 45% выделяли изоляты рода *Trichoderma veride*, в 26% образцах выделяли грибы *T. harzianum*, в 19% – изоляты рода *T. asperellum*. На рисунках 1–3 приведены образцы мицелиальных грибов *Trichoderma*.



Рис. 1. Выделение чистой культуры мицелиального гриба *Trichoderma*



Рис. 2. Изолят *Trichoderma asperellum* – 7 суток, рост на среде Чапека



Рис. 3. Изолят *Trichoderma veride* – 7 суток, рост на среде Чапека

Грибы рода *Trichoderma* являются космополитами в лесных экосистемах, обитающих в почвенных субстратах, на коре деревьев и на растительных остатках травы и листьев.

Полевые изоляты *Trichoderma* отличаются по морфологическим показателям: размерам спор, расположению конидий, пигментации и скорости роста колоний, типу воздушного мицелия.

Полевой изолят *Trichoderma veride* по морфологии отличается обилием хламидоспор, наличием конидий от 4,7 до 7 μm в диаметре и небольших микросклероциев.

Полевой изолят *Trichoderma harzianum* имеет желто-зеленый пигмент микромицета, образует рыхлые подушечки и воздушные гифы.

Полевой изолят *Trichoderma asperellum* – обитает в почве, на коре мертвой древесины и растительных остатках. Спороношение гриба интенсивное, колонии в центральной части темные.

Особенности регионов Поволжья влияют на культурально-морфологические свойства и типы популяций полевых изолятов рода *Trichoderma*.

Все изоляты рода *Trichoderma* были протестированы на наличие токсичности экспресс методом на инфузориях и методом кожной пробы на лабораторных животных (кролики-альбиносы). Результаты теста были отрицательные. Полевые изоляты рода *Trichoderma*, выделенные из почвы в заповеднике «Большая Кокшага», не обладали токсичными свойствами.

В ходе микологического анализа мицелиальных изолятов рода *Trichoderma*, выделенных из почвы на территории заповедника «Большая Кокшага» Республики Марий Эл, установлено, что в скрининге 25 образцов выделялись изоляты рода *Trichoderma veride* – 45%, *Trichoderma harzianum* – 26%, *T. koningii* – 19%, *T. asperellum* – 10%. Все выделенные изоляты рода *Trichoderma* не обладали токсичностью на инфузориях.

Библиографический список

1. Александрова А. В. Грибы рода *Trichoderma* Pers.: FR.: Таксономия, географическое распространение и экологические особенности : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.24. М., 2000. 221 с.
2. Аспите А. Ф., Швинка Ю. Э., Стрикаускас С. В. Использование триходермина для защиты растений от фитопатогенных микромицетов // Вестник с.-х. науки. 1981. № 9. С. 114–118.
3. Потехина Р. М. Морфологические изменения полевых изолятов рода *Trichoderma* после применения гербицидов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 246, № 2. С. 166–171. doi: 10.31588/2413-4201-1883-246-2-166-171
4. Потехина Р. М., Матросова Л. Е., Красовская Ю. В. Микроскопические грибы, вызывающие заболевания ели в национальном парке «Марий Чодра» // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2020. Т. 242, № 2. С. 125–128. doi: 10.31588/2413-4201-1883-242-2-125-128
5. Потехина Р. М. Исследование полевого изолята *Fusarium sporotrichioides*rm+ // Ветеринарный врач. 2020 № 4. С. 31–37. doi: 10.3362/1998-698X.2020-4-31-37
6. Распространение мицелиальных грибов в водных объектах Поволжья / Р. М. Потехина, Ю. В. Ларина, И. М. Фицев, В. И. Макаева, Л. И. Альмитова, Л. Е. Матросова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 245, № 1. С. 154–159. doi: 10.31588/2413-4201-1883-245-1-154-159
7. Егоров Н. С. Микробы антагонисты и биологические методы определения антибиотической активности. М. : Высшая школа, 1965. 211 с.
8. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках. М. : Изд-во МГУ, Наука, 2004. 527 с.

ВТОРОЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ БИОДЕГРАДАЦИИ

А. З. Миндубаев¹, Э. В. Бабынин², Е. К. Бадеева³, С. Т. Минзанова³

¹ Институт энергетики и перспективных технологий
ФИЦ Казанского научного центра РАН,

² Татарский НИИ АХП ФИЦ КазНЦ РАН,

³ Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова
ФИЦ КазНЦ РАН,

*mindubaev-az@yandex.ru, edward.b67@mail.ru,
akosah2005@gmail.com, julieenergy@list.ru*

На протяжении без малого 13 лет ведется работа по исследованию биодеградационного элементного фосфора, а также фосфорсодержащих соединений. За это время собран богатейший материал, получены уникальные результаты. В перспективе они могут стать основой эффективных методов предотвращения и ликвидации загрязнений токсичными соединениями фосфора.

Ключевые слова: биодегградация, детоксикация, токсичные соединения фосфора.

В основе метода биодегградации лежит удивительная способность микроорганизмов адаптироваться к самым неблагоприятным условиям существования. Большинство токсичных загрязнителей состоит из тех же химических

элементов, что и биологические молекулы. Принцип биодegradации заключается в осуществляемой живыми организмами (в первую очередь, микробами) ферментативной переработке ксенобиотиков в безвредные природные вещества, включаемые в круговорот химических элементов. На рисунке 1 изображена схема метаболических путей включения токсичных ксенобиотиков в состав природных аминокислот, входящих в состав белков – пример совершенства биохимических процессов в природе [1].

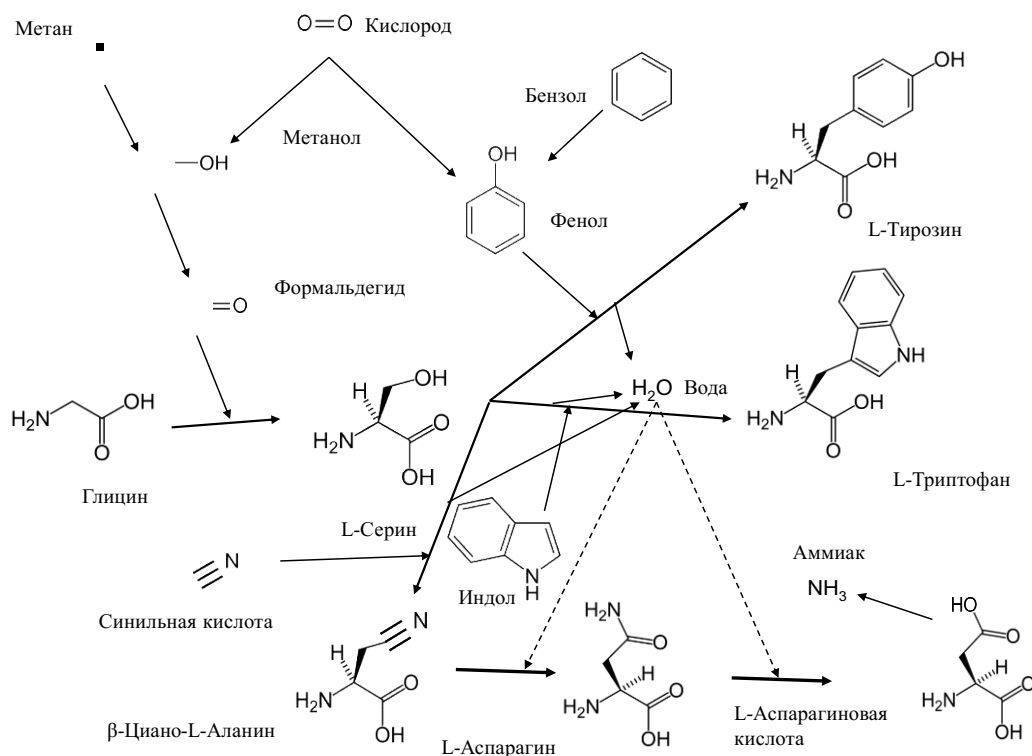


Рис. 1. Вот так два ядовитых вещества превращаются в одно полезное. Включение формальдегида и фенола (индола, синильной кислоты) в состав аминокислот – блестящий пример биодegradации. Синтез метанола из метана осуществляется метанотрофными бактериями (к примеру *Methylococcus capsulatus* (Bath)), серина из метанола – метилотрофными бактериями (например, *Methylomonas aminofaciens*), тирозина из фенола – кишечной бактерией *Citrobacter intermedius*, триптофана из индола – бактериями, растениями и грибами, аспарагина и аспарагиновой кислоты из цианида – культурами фиолетовых хромобактерий *Chromobacterium violaceum*.

Рисунок А. З. Миндубаева, по материалам [1]

Среди соединений фосфора встречаются самые токсичные вещества, созданные человеком, включая ставшие известными «Новички». Но, несмотря на это, они применяются практически во всех сферах деятельности – в металлургии, производстве пиротехники, спичек, полупроводников, пестицидов, лекарств, боевых отравляющих веществ, пластмасс, фосфорной кислоты, моющих средств, удобрений. Важнейшей основой фосфорной химии является белый (вещество технической чистоты носит название желтый) фосфор, по-

сколькo он обладает высокой химической активностью и легко превращается в разнообразные продукты.

Тринадцать лет назад возник наш проект обезвреживания ксенобиотиков, предназначенный для очистки сточных вод и загрязненных грунтов [2–6]. Работа направлена на разработку научных основ детоксикации белого фосфора – опасного промышленного загрязнителя окружающей среды. В наших работах впервые получены культуры микроорганизмов, растущие в культуральных средах, содержащих белый фосфор, и перерабатывающих его в фосфаты.

Главное преимущество метода – сравнительная экологическая безопасность. Существующие в настоящий момент методы обезвреживания [5] наряду с очевидными достоинствами представляют экологическую угрозу, поскольку требуют применения опасных химикатов, либо значительных энергетических затрат.

Проект начался в 2009 г. по заказу голландской фирмы Thermphos International. Задачей являлось обезвреживание белого и желтого фосфора – вещества первого класса опасности. В 2011 г. вышла первая публикация. В 2012 г. из осадка сточных вод с белым фосфором был выделен штамм устойчивого микроорганизма *Streptomyces* sp. A8. В 2014 г. был получен грант РФФИ 14-08-31091 мол_а (2014–2015 гг.). «Биологическая деградация промышленных стоков, содержащих белый фосфор и его производные». В рамках работы по этому гранту впервые в мире создана культуральная среда, содержащая в качестве единственного источника элемента фосфора белый фосфор. Был выделен штамм *Aspergillus niger*, источником которого стал белый фосфор, содержавший жизнеспособные споры. Этот факт является неординарным и демонстрирует поразительную жизнестойкость микроорганизмов. В дальнейших исследованиях мы впервые в мире приготовили ряд модификаций этой питательной среды. Рост грибов в них свидетельствует о превращении белого фосфора в фосфат, без которого невозможны жизнедеятельность и метаболизм. Это позволяет пересматривать определение белого фосфора как биоцида, и начинать рассматривать его как один из источников фосфора в биосфере.

В 2015 г. показано, что деструкторами белого фосфора являются не только черные аспергиллы, но и плесневые грибы триходермы (*Trichoderma asperellum* F-1087). Штамм *Aspergillus niger* зарегистрирован в базе Gen Bank под названием AM1. В 2016 г. результатом селекции стал суперустойчивый штамм *Aspergillus niger* AM2. В этом году вышел патент № 2603259. В 2017 г. мы впервые в мире обнаружили у белого фосфора генотоксическое, ДНК повреждающее свойство [4]. Причем на нескольких объектах: прокариотическом организме – бактерии *Salmonella typhimurium* и эукариотическом – растении *Allium cepa*. Наши исследования показали, что белый фосфор является сильным мутагеном и даже в низкой концентрации 0,008% вызывает резкое увеличение частоты генных и геномных перестроек. То есть, является еще более опасным для окружающей среды и людей, чем считалось до сих пор.

В 2018 г. получен грант Старт 1 на реализацию проекта «Создание метода обезвреживания техногенных загрязнений белым и желтым фосфором при помощи известных культур микроорганизмов». Создано ООО Интехтокс (рис. 2). В рамках гранта проведены оптическая и электронная микроскопия штаммов АМ1 и АМ2, исследования протеома, которые позволили разобраться в адаптациях аспергиллов к белому фосфору. Выяснилось, что в устойчивости задействованы, как минимум, три механизма. Увеличение размеров и числа митохондрий – органелл, осуществляющих клеточное кислородное дыхание и продуцирующих активные формы кислорода, задействованные в окислении ксенобиотиков, в том числе, содержащих фосфор, усложнение структуры и утолщение клеточных стенок, служащих барьером на пути проникновения в клетки ядовитых веществ, появление белков, запускающих каскадные реакции ответа на стрессирующие факторы [5].



Рис. 2. Логотип ООО Интехтокс

Установлены промежуточные метаболиты белого фосфора, в чем нам помог метод ЯМР (ядерный магнитный резонанс). Установлено, что эти продукты в присутствии аспергиллов окисляются в культуральной среде быстрее по сравнению со стерильной средой, выступающей в роли контроля. Проведена продуктивная работа по расширению спектра обезвреживаемых соединений, включающего красный фосфор, фосфит, гипофосфит, фосфонаты. Показано, что не только белый, но и красный фосфор – наиболее важная для промышленности и мирового рынка аллотропная модификация этого элемента – также служит источником фосфора для наших штаммов [3]. Более того, в отношении черного аспергилла он не проявляет токсические свойства. С целью дальнейшего патентования штаммы *Aspergillus niger* АМ1 и АМ2 депонированы во Всероссийской коллекции микроорганизмов (ВКМ). Присвоенные там названия штаммов мы еще не раскрываем в публикациях, поскольку на эти культуры еще не получены патенты. За период 2019 г. обнаружена минимальная ингибирующая концентрация белого фосфора для грибов. Кроме того, оптимизирован состав культуральных сред, что имеет важное значение для дальнейшего масштабирования их культивирования.

В 2020 г. по международной базе NCBI установлено филогенетическое дерево штамма АМ1. Согласно полученным данным, он имеет китайское происхождение и вместе с белым фосфором китайского производства был завезен в Россию. У имеющих самое близкое родство штаммов эволюционно давно сформировалась способность к усвоению фосфора из труднодоступных

источников. Они делают почвенный фосфор более доступным за счет растворения малорастворимых фосфатных минералов. Наше ООО Интехтокс вошло в реестр участников проекта «Сколково». В настоящее время планируется исследование транскриптомов АМ1 и АМ2.

Однако, проект внес вклад не только в прикладную науку, но и в ее популяризацию. Уже вышел ряд научно-популярных статей в журналах «Биомолекула», «Природа», «Наука и жизнь». На канале You Tube выложены видеолекции «Кто съел полиэтилен?», посвященные биodeградации.

Библиографический список

1. Миндубаев А. З. Биodeградация? Нет, биосинтез // Национальные приоритеты России. 2021. № 4(41). С. 89–102.
2. Миндубаев А. З., Бабынин Э. В., Акосах Й. А. Филогенетическое дерево *Aspergillus niger* АМ1 // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 2. Киров, 2021. С. 34–37.
3. Biological Degradation of Yellow (White) Phosphorus, a Compound of First Class Hazard / A. Z. Mindubaev, E. V. Babynin, E. K. Badeeva, S. T. Minzanova, L. G. Mironova, Y. A. Akosah // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2021. Vol. 66. No. 8. P. 1239–1244.
4. White phosphorus genotoxicity / A. Mindubaev, E. Babynin, S. Minzanova, E. Badeeva, Y. Akosah // Bio web of conference. 2021. Vol. 31. No. 00018. P. 1–3.
5. Effect of White Phosphorus on the Survival, Cellular Morphology, and Proteome of *Aspergillus niger* / A. Z. Mindubaev, S. V. Kuznetsova, V. G. Evtyugin, A. G. Daminova, T. V. Grigoryeva, Y. D. Romanova, V. A. Romanova, V. M. Babaev, D. N. Buzyurova, E. V. Babynin, E. K. Badeeva, S. T. Minzanova, L. G. Mironova // Applied Biochemistry and Microbiology. 2020. Vol. 56. No. 2. P. 194–201.
6. The possibility of neutralizing white phosphorus using microbial cultures / A. Z. Mindubaev, E. V. Babynin, A. D. Voloshina, K. A. Saparmyradov, Y. A. Akosah, E. K. Badeeva, S. T. Minzanova, L. G. Mironova // News of NAS RK. Series of geology and technical sciences. 2019. Vol. 5. No. 437. P. 122–128.

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНО- И МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ФУНГИЦИДОВ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ НА КАРТОФЕЛЕ

М. В. Черемисинов

*Вятский государственный агротехнологический университет,
cheremisinov.mv@yandex.ru*

В статье показан опыт применения одно- и многокомпонентных препаратов протравителей клубней картофеля. Проведены исследования по поражаемости картофеля в период вегетации грибным заболеванием антракнозом. Выявлены препараты, имеющие наиболее высокую биологическую эффективность в защите картофеля.

Ключевые слова: фунгициды-протравители, антракноз картофеля, се-лест топ, эместо сильвер, флудимакс.

Картофель – одна из самых популярных сельскохозяйственных культур, используемая как в свежем виде, так и для переработки на продукты, основные из которых – чипсы, картофель фри, пюре, крахмал, спирт, а также на кормовые цели. Суммарный годовой урожай картофеля в мире составляет 328 млн т, из них в России производится 37 млн т.

По оценкам ФАО в целом по миру потребление картофеля и картофельных продуктов на душу населения составляет около 35 кг в год, в то время как в среднем по всему европейскому региону этот показатель находится на уровне 85 кг в расчете на одного жителя, а в России – 90 кг на человека.

В Российской Федерации среднегодовой объем картофеля, используемого в продовольственных целях, оценивается на уровне 13–14 млн тонн. Для глубокой переработки на картофельные продукты (картофель фри, чипсы, сухое пюре) расходуется около 1 млн тонн.

В 2019 году в Российской Федерации болезни картофеля фиксировались на площади 131,79 тыс. га (в 2018 г. – 121,40 тыс. га). Обработки против заболеваний составляли 616,44 тыс. га (в 2018 г. – 573,90 тыс. га). Наибольшее распространение среди болезней получили фитофтороз, антракноз, ризоктониоз и вирусные болезни.

В целом по Российской Федерации отмечалось 3,86% клубней с признаками поражения болезнями (в 2018 г. – 4,14%). Наиболее высокий среди регионов данный показатель составлял 29,2% и был отмечен в Кабардино-Балкарской Республике. Максимальный среди партий проанализированных клубней данный показатель 96,8% был учтен в партии массой 0,02 тыс. т в Краснодарском крае.

Фитофторозом в Российской Федерации поражалось в среднем 0,08% клубней (в 2018 г. – 0,19%). Наиболее высок был уровень пораженности этой болезнью (3,1% больных клубней) в Кабардино-Балкарской Республике. Максимальный процент пораженных клубней составлял 17 и учтен в партии массой 0,05 тыс. т в Карачаево-Черкесской Республике. Всего по Российской Федерации болезнь выявлялась в партиях совокупной массой 46,39 тыс. т.

Ризоктониоз учитывался на 1,1% клубней в среднем по Российской Федерации (в 2018 г. – на 1,17%). Наиболее высокий уровень зараженности клубней данным заболеванием составлял 15,74% и учитывался в Республике Хакасия. Максимальный процент пораженных клубней среди партий картофеля составлял 32,9% и был обнаружен в Новгородской области в партии массой 0,13 тыс. т. Всего в Российской Федерации данным заболеванием было поражено 314,3 тыс. т семенного картофеля.

Обыкновенная парша обнаружена на 1,27% клубней (в 2018 г. – на 1,15%). Наиболее высоким данный показатель был в Сахалинской области, где болезнь учитывалась на 10,71% клубней. Максимальный среди партий процент заражения этим заболеванием составлял 75 и учтен в партии массой 0,01 тыс. т в Краснодарском крае. Всего обыкновенной паршой было заражено 303,35 тыс. т семенного картофеля.

В последнее время наиболее остро стоит проблема распространения антракноза на территории Кировской области. Возбудитель болезни – *Colletotrichum coccodes* (Walr.) Hughes (синоним *C. atramentarium*). Интенсивные технологии возделывания картофеля с использованием более глубоких знаний и более современных средств рассчитаны на получение высоких урожаев. Использование высокопроизводительной техники, позволяющей одновременно выполнять несколько операций по уходу за растениями, ведут к возрастанию механических повреждений, которые не могут обеспечить стабильную в фитосанитарном отношении агрокультуру картофеля. При рассмотрении симптомов болезни важно подчеркнуть, что возбудитель *C. coccodes* поражает все органы растений картофеля: надземные побеги, столоны, корни и клубни. На растениях картофеля в поле симптомы болезни на стеблях проявляются во второй половине вегетации в виде светлых пятен, чаще всего в месте прикрепления черешков. Пораженные стебли в дождливую погоду могут загнивать и при подсушивании покрываться множеством черных точечных микросклероциев гриба. На подземной части стебля разрушается покровная ткань с появлением фиолетовой или синей окраски верхней внутренней поверхности стебля. Склероции на подземной части крупные, углистые, расположены одиночно или группами.

Производственный опыт проведен вблизи г. Орлова Кировской области, заложен клубнями 2 репродукции сорт Гала. Данный сорт включен в Госреестр России (в 2008 году) и Беларуси (в 2011 году), разработан специалистами немецкой селекционно-семеноводческой компании Norika (полное название – Norika Nordring-Kartoffelzucht und Vermehrungs-GmbH) и запатентован немецкой фирмой Norex Norika Exportgesellschaft mbH.

Предшествующая культура в севообороте – картофель. Засоренность посевов низкая. Присутствуют единичные растения хвоща полевого и бодяка. Почва на участках, где закладывался опыт, дерново-подзолистая легко- и среднесуглинистая. Закладка опыта проведена 22 мая 2021 года. Норма высадки составила 48 шт./га.

Ранее опыты по изучению защитного и мутагенного действия фунгицидов были проведены на ячмене [1–6]. Прямое действие препаратов – это защитное действие, но наряду с ним может проявляться отрицательное – мутагенное действие, которое не изучается на высших растениях [7–10]. Схема опыта включала 5 вариантов:

- 1) контроль (без обработки);
- 2) флудимакс 0,4 л/т (д.в.: флудиоксонил 25 г/л);
- 3) флудимакс 0,4 л/т + монарх 33 г/т (д.в.: флудиоксонил + финпронил 800 г/кг).
- 4) эместо серевер 0,4 л/т + монарх 33 г/т (д.в.: пенфлуфен 100 г/л + протиконазол 18 г/л + финпронил 800 г/кг);
- 5) селест топ 0,4 л/т (д.в.: тиаметоксам 262 г/л, дифконазол 25 г/л; флудиоксонил 25 г/л).

Наиболее опасными и сильно распространенными заболеваниями в последнее время на картофеле являются: антракноз, ризоктониоз, обыкновенная парша.

В фазу цветения проводили учет распространения болезни. Было выявлено минимальное количество антракноза по всем вариантам опыта. Распространение составило 1% в варианте флудимакс, 2% при обработке клубней препаратом эместо сильвер, а в варианте с препаратом селест топ не было выявлено (табл. 1). В тоже время в эту фазу начала незначительно развиваться обыкновенная парша.

Таблица 1

Влияние препаратов на распространение антракноза в период вегетации

Вариант опыта	Фаза цветения, %	Начало формирования клубней, %	Активный рост клубней, %
1. Контроль	4	12,5	19
2. Флудимакс 0,4 л/т	1	8,0	12
3. Флудимакс 0,4 л/т + монарх 33 г/т	1	7,0	12
4. Эместо сильвер 0,4 л/т + монарх 33 г/т	2	8,0	9
5. Селест топ 0,4 л/т	0	1,5*	7*

Наибольшее распространение парши выявлено при обработке препаратом флудимакс – 17,2 и 18,1%, наименьшее – при обработке препаратом селест топ – 1,0%, по сравнению с контролем 27,5%.

В фазу начала формирования клубней продолжили вести учеты болезней на производственных делянках опыта.

Наибольшее развитие антракноза по подземной части стебля было отмечено при обработке клубней препаратами флудимакс и эместо сильвер – от 7,0 до 8,0%, в контроле – 12,5%. Наименьшее развитие – при обработке препаратом селест топ – 1,5% (табл. 1).

На клубнях были едва заметные первые признаки обыкновенной парши от 4 до 24,1%. Наибольший процент распространения болезни был в варианте флудимакс + монарх – 24,1%. Минимальное развитие обыкновенной парши 2,3% дала обработка препаратом селест топ, по сравнению с контролем 32,7%.

Распространение ризоктониоза при обработке препаратом эместо сильвер составило 2%.

В начале сентября начали активно выпадать осадки в виде дождя, поэтому шло интенсивное нарастание инфекции, как по антракнозу, так и по обыкновенной парше. Распространение антракноза колебалось от 7 до 12%.

Однокомпонентный препарат флудимакс уступал препарату с двумя компонентами – эместо сильвер и трехкомпонентному – селест топ. Распространение составило 12; 9; и 7% соответственно. Распространение ризоктониоза на стеблях составило 5% при обработке препаратом эместо сильвер.

К концу вегетации распространение парши обыкновенной составило от 12 до 44%. Минимальный процент при обработке клубней препаратом селест топ 12; флудимакс, флудимакс + монарх – 43 и 44 % соответственно.

На основании расчета биологической эффективности изучаемых препаратов по антракнозу видно, что в начале вегетации биологическая эффективность применения препаратов была высокая – от 75 до 100% (табл. 2).

Таблица 2

Биологическая эффективность обработки клубней картофеля протравителями по фазам развития, в % по антракнозу

Вариант	Фаза цветения	Фаза роста клубней	Фаза активного роста
1. Контроль	0	0	0
2. Флудимакс 0,4 л/т	75,0	44,0	36,8
3. Флудимакс 0,4 л/т + монарх 33 г/т	75,0	50,0	36,8
4. Эместо сильвер 0,4 л/т + монарх 33 г/т	55,5	50,0	52,3
5. Селест топ 0,4 л/т	100	72,2	63,1

Наибольшая биологическая эффективность при применении трехкомпонентного препарата селест топ. По мере прохождения растениями картофеля следующих фаз развития биологическая эффективность постепенно снижалась и достигла минимума к концу вегетации. Значительное снижение защитных свойств отмечалось по однокомпонентному препарату флудимакс: с 75,0 до 36,8% в конце вегетации. В варианте обработки с двухкомпонентным препаратом эместо сильвер биологическая эффективность была невысокая как в начале, так и в конце вегетации (55,5–52,3%). 100% защиту от антракноза в начале вегетации обеспечил препарат селест топ, снизив ее к концу вегетации до 63,1%, что больше в 1,7 раза, чем при обработке препаратом флудимакс (табл. 2).

Незначительно уступил фунгициду селест топ препарат эместо сильвер + монарх, биологическая эффективность составила 52,3% к концу вегетации (табл. 2).

При проведении контрольной копки картофеля прибавка урожайности колебалась от 18,3 до 97 ц/га. Наименьшую прибавку обеспечил однокомпонентный препарат флудимакс + монарх: она составила 18,3 и 29,4 ц/га при обработке одним флудимаксом (табл. 3).

Наиболее весомая прибавка урожайности получилась у двухкомпонентного препарата эместо сильвер – 82,2 ц/га и трехкомпонентного препарата селест топ – 97,5 ц/га (табл. 3).

**Урожайность картофеля при проведении контрольной копки
в переводе на ц/га**

Вариант опыта	Урожайность картофеля, ц/га	Прибавка урожая ц/га +/-
1. Контроль	363,3	0
2. Флудимакс 0,4 л/т	392,7	+29,4
3. Флудимакс 0,4 л/т + монарх 33 г/т	381,6	+18,3
4. Эместо сильвер 0,4 л/т + монарх 33 г/т	445,5*	+82,2
5. Селест топ 0,4 л/т	460,8*	+97,5

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. В 2021 вегетационном году сложились благоприятные условия для роста и развития картофеля, т. к. в мае месяце было достаточное количество влаги в почве.

2. 100% защиту от антракноза в начале вегетации обеспечил препарат селест топ, незначительно снизив ее к концу вегетации до 63,1%, что больше в 1,7 раза, чем при обработке однокомпонентным препаратом флудимакс.

3. Незначительно уступил фунгициду селест топ препарат эместо сильвер + монарх: его биологическая эффективность составила 52,3% к концу вегетации.

4. На основании расчета биологической эффективности изучаемых препаратов по обыкновенной парше видно, что в начале вегетации биологическая эффективность применения препаратов была от средней до высокой и составила 34,5–96,3%. Наибольшая – у комбинированных двухкомпонентного и трехкомпонентного препаратов – эместо сильвер и селест топ 88 и 96% соответственно. Препарат флудимакс имел невысокую биологическую эффективность.

5. Наиболее весомая прибавка урожайности получилась у двухкомпонентного препарата эместо сильвер 82,2 ц/га и трехкомпонентного препарата селест топ 97,5 ц/га.

Таким образом, для получения высоких и стабильных урожаев картофеля и максимальной защиты от антракноза необходимо применять многокомпонентные препараты с высокой биологической эффективностью, такие как селест топ, обеспечивающий максимальную прибавку урожая. Также многокомпонентные препараты обеспечивают стабильное увеличение количества клубней на одном кусте и массу клубней с 1 куста. Незначительно уступает препарату селест топ фунгицид эместо сильвер, но в неблагоприятных погодных условиях его защитное действие может быть значительно ниже.

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, С. А. Емелев, М. А. Фокин, А. В. Ожегова // 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.

6. Изергин С. Н., Дудин Г. П., Черемисинов М. В. Морфофизиологические изменения и хлорофилльные мутации ярового ячменя, полученные под влиянием протравителей семян // Науке 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 РА-ЕН. Киров, 2004. С. 294–295.

8. Черемисинов М. В. Изменение маркерного *waxy*-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. Дудин Г. П., Помелов А. В., Медведчиков А. П., Черемисинов М. В. Способ мутагенной обработки растений ячменя. Патент на изобретение. RU 2456796 C1 27.07.2012. Заявка № 2011123943/10 от 10.06.2011.

10. Черемисинов М. В., Помелов А. В. Выявление мутагенного эффекта фунгицидов при обработке семян ячменя методом протравливания // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 324–328.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О МИКСОМИЦЕТАХ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ «НИЗЕВСКИЙ ТАЕЖНО-БОЛОТНЫЙ КОМПЛЕКС»

Н. А. Никифоров

Вятский государственный университет, N.A.Nikiforoff@yandex.ru

Проведены предварительные исследования видового разнообразия миксомицетов в части лесных биоценозов памятника природы регионального значения «Низевский таежно-болотный комплекс». Представлены первые сведения о таксономическом составе сообществ миксомицетов верхнего болотного участка таежно-болотного комплекса.

Ключевые слова: миксомицеты, слизевики, видовое разнообразие, Низевский таежно-болотный комплекс, лесные фитоценозы.

Миксомицеты, или плазмодиальные слизевики – широко распространенная группа простейших, являющихся наиболее примечательными и известными представителями экоморфы слизевиков, в своем жизненном цикле удивительным образом сочетающих подвижные, покоящиеся и расселительные стадии.

Аспекты практического применения миксомицетов представляют в последнее время все больший интерес для научного сообщества. Имеется существенный опыт использования миксомицетов в качестве модельных организмов различных биохимических, физиологических, цитологических исследований, изучаются их биоиндикационные свойства, а также способность синтезировать пигменты и новые биологически активные вещества.

Очевидно значение миксомицетов при уточнении знаний об эволюции и филогении простейших и грибов и как следствие в деле совершенствования представлений о системе органического мира в целом.

Развитие исследований биологии, экологии миксомицетов и их свойств существенно сдерживается фрагментарностью данных о их распространении, что имеет место в большинстве регионов, в том числе и в Кировской области. На данный момент некоторые сведения о разнообразии миксомицетов имеются лишь для заповедника «Нургуш», парков г. Кирова и ближних его окрестностей [3, 4].

Большой интерес для изучения миксомицетов представляет, расположенный в среднем течении р. Чепца памятник природы регионального значения «Низевский таежно-болотный комплекс».

Первичные исследования по выявлению видового разнообразия миксомицетов производились в сентябре 2021 г. маршрутным методом и впоследствии методом влажных камер.

Был исследован верхний участок поросших мачтовым бором песчаных гряд флювиогляциального происхождения, включающий лесные фитоценозы сосняков бруснично-зеленомошных, сосняков беломошных, местами с примесью березы и ели.

По результатам маршрутных исследований на 7 площадках были обнаружены спороношения 6 видов, относящихся к 4 порядкам класса *Mucoromycetes* (табл.).

Таблица

Виды миксомицетов, обнаруженные в природе

№	Вид	Порядок	Координаты площадок
1	2	3	4
1	<i>Arcyria stipata</i>	<i>Trichiales</i>	58°28'33" с.ш. – 51°30'72" в.д.
2	<i>Badhamia utricularis</i>	<i>Physarales</i>	58°28'33" с.ш. – 51°30'72" в.д.
3	<i>Comatricha nigra</i>	<i>Stemonitales</i>	58°28'45" с.ш. – 51°31'57" в.д.
			58°28'48" с.ш. – 51°31'62" в.д.
			58°28'44" с.ш. – 51°31'42" в.д.

1	2	3	4
4	<i>Lycogala epidendrum</i>	<i>Liceales</i>	58°28'33" с.ш. – 51°30'72" в.д. 58°28'54" с.ш. – 51°31'46" в.д.
5	<i>Stemonitis</i> sp.	<i>Stemonitales</i>	58°28'33" с.ш. – 51°30'72" в.д. 58°28'33" с.ш. – 51°32'41" в.д.
6	<i>Trichia decipiens</i>	<i>Trichiales</i>	58°28'33" с.ш. – 51°32'41" в.д. 58°28'46" с.ш. – 51°31'45" в.д.

Из них четыре вида обнаружены неоднократно. В частности весьма распространенный в умеренной природной зоне вид *Trichia decipiens* (*Trichiaceae*) обнаружен дважды, в составе крупных колоний на коре упавшей ели, на древесине пня и части ствола пораженной ветроломом сосны, в ассоциации со *Stemonitis* sp. (*Stemonitidaceae*). Иссохшие, непригодные для точного видового определения спороношения последнего были также обнаружены совместно с *Lycogala epidendrum* (*Reticulariaceae*) на схожем субстрате, покрытым, кроме того, сплошным покровом псевдоэталиев *Arcyria stipata* (*Arcyriaceae*).

Немногочисленные спорофоры *Badhamia utricularis* (*Physaraceae*) были обнаружены в образцах с этой же площадки позже, в процессе камеральной обработки. Разных стадий зрелости спорокарпы *Comatricha nigra* (*Stemonitidaceae*), были изъяты на трех площадках с коры стволов упавших сосен.

Жизненный цикл слизевиков тесно связан со способностью субстрата удерживать влагу и как следствие со степенью его увлажненности и водным режимом территории местообитания. Скучность выявленного видового разнообразия миксомицетов можно объяснить аномально засушливыми условиями предшествующего летнего сезона, что прежде было отмечено и в ходе исследований на территории заповедника «Нургуш». [2]

Климатические условия могли способствовать и гибели спор миксомицетов, что объясняет безрезультатность их лабораторной культивации. Из 15 заложённых в ходе эксперимента влажных камер, в течение 3-х месяцев наблюдений развитие плазмодиев и спорофоров миксомицетов не обнаружено ни в одной.

Таким образом, в ходе предварительных исследований на территории памятника природы выявлено 6 видов миксомицетов, принадлежащих к 5 семействам (*Arcyriaceae*, *Physaraceae*, *Reticulariaceae*, *Stemonitidaceae*, *Trichiaceae*) и 4-м порядкам (*Liceales*, *Physarales*, *Stemonitales*, *Trichiales*). В перспективе продолжение планомерных исследований, направленных на наиболее полное открытие видового разнообразия миксомицетов на территории всего памятника природы.

Библиографический список

1. Гмошинский В. И., Дунаев Е. А., Киреева Н. И. Определитель миксомицетов Московской области : учебно-методическое пособие. М. : МГУ, 2016. 160 с.
2. Широких А. А. Снижение видового разнообразия миксомицетов заповедника «Нургуш» в засушливый вегетационный период // Биодиагностика состояния природных и

природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 172–177.

3. 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.

4. Широких А. А. Миксомицеты заповедника Нургуш. Киров : О-Краткое, 2018. 92 с.

ЭКОЛОГО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СТОЧНЫХ ВОД И ПАНДЕМИЯ COVID-19

Е. Н. Сизова, Л. Н. Шмакова

Кировский государственный медицинский университет, sizovahelena@mail.ru

Аннотация: в статье собраны доказательства, что сточные воды являются важным источником информации о наличии в человеческой популяции такого вирусного патогена как SARS-CoV-2. С помощью эколого-эпидемиологического мониторинга сточных вод предлагается оценивать эффективность локдаунов.

Ключевые слова: сточные воды, экологический мониторинг, пандемия COVID-19

Эколого-эпидемиологический мониторинг сточных – это новый инструмент экологии и эпидемиологии, созданный как дополнительный путь эпиднадзора за инфекционными заболеваниями для раннего предупреждения вспышек болезней. С помощью этого инструмента можно проводить всесторонний мониторинг новых вспышек болезней в популяции в режиме реального времени. Тестов для определения SARS-CoV-2 во время пандемии COVID-19 катастрофически не хватало, и страны с отлаженной системой мониторинга сточных вод определяли SARS-CoV-2 в канализации.

В Нидерландах, например, SARS-CoV-2 выявили всего через 4 дня после первого зафиксированного случая заболевания [1, 2]. Выяснили, что в архивных образцах сточных вод SARS-CoV-2 можно было обнаружить еще до официального объявления о начале вспышки. Willemijn Lodder, Ana Maria de Roda Husman [1], начиная с 17 февраля 2020 г., ежедневно брали пробы объемом 10 л один раз в неделю сточных вод, собранных в аэропорту Амстердама Схипхол (Харлеммермер, Нидерланды) для анализа на вирусы. Образцы дали положительный результат на вирусную РНК методом количественной ОТ-ПЦР через 4 дня после выявления первых случаев COVID-19 в Нидерландах 27 февраля 2020 г. Это можно объяснить выделением вируса потенциально симптоматическими, бессимптомными или несимптомными лицами, проходящими через аэропорт. Кроме того, образцы человеческих сточных вод, отобранные рядом по времени с первыми случаями заражения в Нидерландах в

Тилбурге, Нидерланды, также дали положительный результат на присутствие вирусной РНК в течение недели с первого дня начала заболевания. Эти результаты показывают, что сточные воды могут быть чувствительной системой и инструментом раннего предупреждения инфекционных заболеваний. В целом, обеспечение безопасной водой, санитарией и гигиеническими условиями может обеспечить защиту от любых инфекционных заболеваний, включая COVID-19.

Однако, нет уверенности в том, что SARS-CoV-2 выделяют все его носители [3]. Вклад носителей SARS-CoV-2 зависит от того, появляются ли у них кишечные симптомы, которые при COVID-19 встречаются нечасто. В настоящее время пока нет данных о том, в течение какого времени после заражения и выздоровления человек остается источником вирусных геномов. Поэтому нельзя однозначно преобразовать информацию о концентрации вирусной РНК в сточных водах в число заболевших. Хотя такие попытки были.

Так, в России, по данным казанских ученых, доля инфицированных SARS-CoV-2 получилась на порядок выше официальной статистики (0,4% против 0,09%) [4]. Для принятия управленческих решений необходима точная и актуальная информация об эпидемиологической ситуации. Массивное тестирование на наличие вирусов слюны, мазков из носа, носоглотки и/или ротоглотки, сыворотки крови не может дать релевантную информацию о частоте заражения COVID-19 в сообществе, поскольку одновременное тестирование всего сообщества технически невозможно, информация, полученная при тестировании конкретных групп, запаздывает, и, кроме того, такое тестирование стоит дорого. Альтернативой является тестирование сточных вод, которые могут содержать частицы SARS-CoV-2. Р. А. Kuryntseva et al. [4] разработали модифицированный подход к выявлению уровня заражения COVID-19 с использованием анализа сточных вод. Подход включает: 1) создание калибровочной кривой на основе серийного разбавления экскрементов, собранных у людей, инфицированных COVID-19, и 2) анализ проб сточных вод и их серийных разведений, подход исключает использование концентрирования. Такой подход включает также использование внешнего контроля в реакциях ОТ-ПЦР для подсчета количества вирусных частиц. Минимальный уровень заражения, который можно обнаружить при таком подходе, составляет 2–10%. Разработанный подход был использован для исследования сточных вод из одиннадцати канализационных камер г. Казани (Россия). Показано, что средний уровень заражения людей, использующих эти коллекторы, был более нуля [4].

Систему канализационного мониторинга на определение SARS-CoV-2 перестроили в считанные месяцы [5]. Например, осенью 2020 г. в США целый кампус вывели на карантин, после обнаружения SARS-CoV-2 в местной очистной станции [6]. Результаты мониторинга начали использовать для предупреждения населения об опасности, ранжирования регионов внутри страны по эпидемиологическому статусу, отслеживания эффективности локдаунов.

Отбор проб сточных вод начался 1 июля. Преимущество тестирования сточных вод в том, что получается моментальный срез того, что происходит в университетском городке, и есть возможность изолировать его даже до того, как у студентов появятся симптомы заболевания. Это также менее инвазивно. Согласно пресс-релизу университета, никакие другие образцы для тестирования в кампусе, взятые на неделе, не показывают повышенного уровня вируса, и в настоящее время нет сообщений о положительных тестах на COVID-19 в помещениях, находящихся на карантине. В середине августа объявлено о создании национальной системы надзора за сточными водами, чтобы помочь местным руководителям общественного здравоохранения лучше понять масштабы распространения пандемии в их сообществах. Сточные воды дома и на работе можно проверить на генетический материал нового коронавируса. Исследования показывают, что вирус можно найти в фекалиях больных, а также людей, у которых еще нет симптомов COVID-19 [6]. Это также поможет отслеживать эффективность локдаунов [7].

Willemijn Lodder [1] обнаружили РНК SARS-CoV-2 в сточных водах, что является потенциальным риском для здоровья населения, но и возможностью его количественной оценки и контроля за распространением инфекции. Вначале РНК SARS-CoV-2 концентрировали из сточных вод, затем считали вирусные РНК количественной полимеразной цепной реакцией обратной транскриптазы (RT-КПЦР) и затем методом моделирования выявили средний диапазон 171-1090 инфицированных людей, что согласуется с клиническими наблюдениями [9]. Теоретически вирус может распространяться через канализацию в жилых домах: попадать туда с экскрементами больного в одной квартире и разлетаться с каплями из унитаза в другой, попадая на кожу и слизистые ее обитателей. Однако доказательств того, что кто-то на самом деле заразился именно таким образом, пока нет.

Walter Randazzo [2] методом концентрации адсорбции-осаждения гидроксида алюминия определили титры РНК SARS-CoV-2 ($5,4 \pm 0,2 \log_{10}$ геномных копий/л) в необработанных образцах сточных вод на станциях очистки Мурсия Пиренейского полуострова с низкой распространенностью COVID-19 март – апрель 2020 г. При сравнении с зарегистрированными случаями COVID-19 выявили прямую положительную корреляцию между ними, что поможет ранней индикации инфекции в популяциях и принятию стратегии снятия блокировки [2].

П. Ю. Галицкая и соавторы [10] предложили способ мониторинга заболеваемости COVID-19, который включает определение представляющего нижний предел определения уровня заболеваемости поправочного коэффициента (m) и мониторинг заболеваемости COVID-19. Для определения m берут аликвоты образцов экскрементов пациентов с подтвержденным диагнозом COVID-19 и разбавляют модельной сточной водой для получения образцов № 1...№ p , проводят серийные разведения образцов № 1...№ p до достижения нижнего предела определения метода ОТ-ПЦР-РВ, усредняют и рассчитывают среднеарифметическое значение максимальных степеней разведения,

определяют m как отношение 100 к среднеарифметическому значению. Для мониторинга выделяют РНК из образцов сточных вод, анализируют пробы на наличие вирусных частиц SARS-CoV-2, где при отрицательном результате уровень заболеваемости равен 0%, а при положительном результате готовят серийные разведения образцов сточных вод до достижения нижнего предела определения метода ОТ-ПЦР-РВ, определяют максимальную степень разбавления сточных вод (k), рассчитывают значения уровня заболеваемости COVID-19 (N , %) по формуле $N=k \times m$. Изобретение обеспечивает повышение точности результатов и снижение длительности анализа проб [10].

Таким образом, сточные воды являются источником информации о бактериальных и вирусных патогенах, в том числе и SARS-CoV-2. Сточные воды – это чувствительная система и инструмент раннего предупреждения инфекционных заболеваний, включая COVID-19. С помощью эколого-эпидемиологического мониторинга сточных вод можно оценивать эффективность локдаунов. Результаты работы мониторинга за сточными водами в разных странах объединяются в сети. Не исключено, что по окончании пандемии COVID-19, или после прохождения ее острой фазы эти разработки найдут новое применение в распознавании других вирусов, сборе данных об образе жизни горожан.

Библиографический список

1. Lodder W., de Roda Husman A. M. SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source // *Lancet Gastroenterol Hepatol.* 2020. № 6 (5). P. 533–534. doi: 10.1016/S2468-1253(20)30087-X.
2. SARS-CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area / W. Randazzo, P. Truchado, E. Cuevas-Ferrando, Pe.Simónd, A. Allende, G. Sánchez // *Water Research.* Vol. 181. doi: 10.1016/J.WATRES.2020.115942
3. Rethinking wastewater risks and monitoring in light of the COVID-19 pandemic / A. Bogler, A. Packman, A. Furman, A. Gross, A. Kushmaro, A. Ronen, C. Dagot, C. Hill, D. Vaizel-Ohayon, E. Morgenroth et al. // *Nature Sustainability.* 2020. Vol. 3. P. 981–990. <https://www.nature.com/articles/s41893-020-00605-2>
4. A simplified approach to monitoring the COVID-19 2 epidemiologic situation using waste water analysis 3 and its application in Russia / P. A. Kuryntseva, K. O. Karamova, V. P. Fomin, S. Y. Selivanovskaya, P. Y. Galitskaya // *MedRxiv.* 2020. doi: 10.1101/2020.09.21.20197244.
5. SARS-CoV-2 RNA concentrations in primary municipal sewage sludge as a leading indicator of COVID-19 outbreak dynamics / J. Peccia, A. Zulli, D. E. Brackney, N. D. Grubaugh, E. H. Kaplan, A. Casanovas-Massana, A. I. Ko, A. A. Malik, D. Wang, M. Wang, D. M. Weinberger, S. B. Omer // *MedRxiv.* 2020. doi: 10.1101/2020.05.19.20105999
6. Ellis R., McNabb N., Levenson E. 287 Utah State University students quarantined after COVID-19 found in wastewater from four dorms // *CNN.* 2020. <https://edition.cnn.com/2020/09/01/health/us-coronavirus-tuesday/index.html>
7. Tracking SARS-CoV-2 in Sewage: Evidence of Changes in Virus Variant Predominance during COVID-19 Pandemic / J. Martin, D. Klapsa, T. Wilton, M. Zambon, E. Bentley, E. Bujaki, M. Fritzsche, R. Mate, M. Majumdar // *Viruses.* 2020. № 10 (12). P. 1144. doi: 10.3390/V12101144
8. Genome sequencing of sewage detects regionally prevalent Sars-CoV-2 variants / A. Crits-Christoph, R. S. Kantor, M. R. Olm, O. N. Whitney, B. Al-Shayeb, Y. C. Lou,

A. Flamholz, L. C. Kennedy et al. // American Society of Microbiology. 2021. Vol. 12. Issue 1. P. e02703- e02720. doi: 10.1128/mBio.02703-20

9. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community / W. Ahmed, N. Angel, J. Edson, K. Bibby, A. Bivins, J. W. O'Brien, P. M. Choi, M. Kitajima, S. L. Simpson, J. Li, B. Tschärke, R. Verhagen, W. J. M. Smith, J. Zaugg, L. Dierens, P. Hugenholtz, K. V. Thomas, J. F. Mueller // Sci Total Environ. 2020. Vol. 728. P. 138764. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138764.

10. Способ мониторинга заболеваемости COVID-19 с использованием анализа сточных вод. / П. Ю. Галицкая, С. Ю. Селивановская, М. А. Рудакова, К. О. Карамова, П. А. Курынцева. Номер патента: RU2743687C1 Патентное ведомство: Россия. 2021. Номер заявки: 2020140957.

СЕКЦИЯ 6 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

НАХОДКА НОВОГО ДЛЯ МИКОБИОТЫ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ *ELAPHOMYCES GRANULATUS* FR.

Э. В. Марамохин, А. А. Ершов

Костромской государственной университет, maramokhin91@mail.ru

В статье сообщается о новой для микобиоты Костромской области находке трюфельного гриба – *Elaphomyces granulatus* Fr. (олений трюфель зернистый), который был обнаружен при изучении почвенной мезофауны в смешанном лесу на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Синицына (Костромская область).

Ключевые слова: *Elaphomyces granulatus*, новая находка, редкий вид, смешанный лес, плодовое тело, анатомо-морфологическая структура, спора.

В настоящее время микобиота аскомицетов (Ascomycota) на территории Костромской области изучена крайне неравномерно. А вопросы, связанные с биологией и экологией трюфельных грибов, до последнего времени не поднимались вовсе. Однако в полевой сезон 2021 года в ходе экспедиционного выезда для комплексного изучения флоры и фауны на кологривском кластере государственного природного заповедника (ГПЗ) «Кологривский лес» им. М. Г. Синицына при проведении исследований почвенной мезофауны было впервые найдено несколько плодовых тел трюфеля оленьего, или элафомицеса зернистого – *Elaphomyces granulatus* Fr. В Костромской области этот вид не указывался ни в одной микологической и флористической сводках по региону [1]. Данный вид широко распространен в Европе, Северной Америке, Азии. На территории России этот вид грибов встречается в лесной зоне Тульской, Орловской и Владимирской областей, а единичные находки отмечены под Москвой и Смоленском [2]. В Болгарии этот вид внесен в Красную книгу [3]. Известно, что гриб несъедобен для человека, однако его хорошо поедают животные и различные беспозвоночные. Является микоризообразователем с *Picea abies* (L.) H. Karst. [4].

При проведении полевых исследований участков почвы с обнаруженными плодовыми телами *E. granulatus* использованы методы, широко применяемые при изучении почвенной мезофауны [5]. Определен тип сложения леса по В. Н. Сукачеву, а также онтогенетические состояния растений древостоя [6]. Проведена оценка гранулометрического состава почвы. Координаты местонахождения вида определены в системе GPS с использованием навигатора

еТрехН. Споры изучены под микроскопом Биомед-3 в проходящем свете, без окрашивания при общем увеличении $\times 400$. Проведены измерения размеров спор по общепринятым методикам [7]. Собраны плодовые тела, которые переданы на хранение в гербарий Костромского государственного университета.

Плодовые тела *E. granulatus* в количестве 3 штук обнаружены около кордона «Сеха» на кологривском кластере ГПЗ «Кологривский лес» им. М. Г. Синицына на территории бывшей вырубki в березняке разнотравном с участием *P. abies* при изучении почвенной мезофауны на глубине от 14 до 20 см. Почва данного участка характеризуется как дерново-подзолистая. При проведении гранулометрического анализа методом скатывания в шнур установлено преобладание средней супесчаной почвы.

Лесосложение на участке обнаружения *E. granulatus* представлено эдификатором *Betula pendula* Roth, субдоминантом *P. abies* и ассектатором *Vaccinium myrtillus* L. По онтогенетическому состоянию *B. pendula* и *P. abies* в большинстве представлены средне генеративными (g2) растениями. Следует отметить, что в целом для современного растительного покрова кологривского кластера заповедника характерна мозаичность разновозрастных производных лесов, сформировавшихся на месте однократных рубок. Расположение участков заповедника в зоне перекрытия ареалов европейских и сибирских видов обеспечивает своеобразие флоры. Участки заповедника отличаются по характеру почвообразующих пород и растительности и охватывают значительное разнообразие природно-территориальных комплексов южной тайги, в большой мере отражающих зональные особенности растительности [8].

Найденные плодовые тела *E. granulatus* имели диаметр от 2 до 4 см. Масса плодовых тела составляла в среднем 5 г. Поверхность грибов мелкобугорчатая, рыжевато-коричневого цвета. Плодовые тела *E. granulatus* при надавливании были жесткими и упругими. На разрезе плотная оболочка гриба имела радиальное окрашивание и состояла из нескольких слоев. Внутреннее содержимое тела имело фиолетово-черный цвет и состояло из спороносной ткани с немногими нитями капиллиция, центральная часть заполнена студенистой массой (рис. 1).



Рис. 1. Плодовое тело *Elaphomyces granulatus* (слева), в разрезе (справа)

При микроскопировании в проходящем свете спороносной ткани обнаружены шаровидные, с небольшими шипиками до 2 мкм длиной споры коричнево-черного цвета 20–30 мкм в диаметре, со стенкой толщиной до 10 мкм, что можно видеть у незрелых спор (рис. 2). При изучении более толстых срезов под микроскопом выявлены шестиспоровые аски, грушевидной или округлой формы около 40 мкм в диаметре.

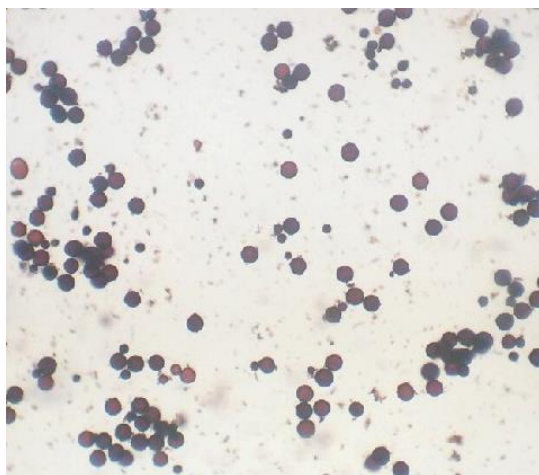


Рис. 2. Споры *Elaphomyces granulatus* под микроскопом (увел. ×400)

С использованием навигатора eTrexH в системе GPS определены координаты точки обнаружения вида: 58°94'540"с.ш. 43°84'994"в.д.

Таким образом, обнаруженный новый вид *E. granulatus* на территории Костромской области является первой достоверной находкой трюфельных грибов в нашем регионе. В дальнейшем планируется более детальное изучение эдафических факторов, способствующих образованию плодовых тел, приуроченности к определенным биогеоценозам. В целом, будет проведено комплексное изучение особенностей биологии и экологии этого вида. В связи со скрытым образом жизни и невозможностью определить размерные характеристики популяции, единичными находками плодовых тел *E. granulatus* в пределах Костромской области, необходимо поставить вопрос о включении этого вида в региональную Красную книгу [9, 10].

Библиографический список

1. Флора Костромской области. Грибы [Электронный ресурс]. – URL: <https://florako.ru/mushrooms> (дата обращения: 23.03.2022).
2. Мишулин А. А., Скрипченко Л. С. Предварительные данные о биоте сумчатых грибов (Ascomycota) Владимирской области // Проблемы экологического образования в XXI-м веке : Труды II Междунар. науч. конф. (очно-заочной) (Владимир, 30 ноября 2018 года). Владимир : Аркаим, 2018. С. 28–36.
3. Red Data Book of the Republic of Bulgaria. Vol. 1. Plants and Fungi / D. Peev, A. Petrova, M. Anchev, D. Temniskova. IBER–BAS & MOEW, 2011. 822 p.
4. Курочкин С. А., Петухова Л. В. Представители «трюфельных» грибов на территории Тверской области // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2019. №4 (56). С. 117–120. doi: 10.26456/vtbio124
5. Гиляров М. С. Зоологический метод диагностики почв. М. : Наука, 1965. 278 с.

6. Сукачѳв 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.
7. Микроскопические методы и их роль в современных биологических науках / В. О. Бородин, Д. Х. Сабиров, А. Н. Цыбина, Е. А. Звада // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 5–2. С. 36–40.
8. Криницын И. Г., Лебедев А. В. Экологическая характеристика местообитаний ценопопуляций липы сердцевидной и ели обыкновенной в заповеднике «Кологривский лес» // Природообустройство. 2019. № 3. С. 121–126. doi: 10.34677/1997-6011/2019-3-121-126
9. Кларидж Э. Тайная жизнь трюфелей // В мире науки. 2010. № 6. С. 57–62.
10. Курочкин С. А., Коробков А. Г. Новые виды и местообитания редких и краснокнижных грибов-макромицетов в Тверской области // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2018. № 2. С. 223–229.

О НАХОДКЕ ДЕНДРИСКОСТИКТЫ РАЙТА (*DENDRISCOSTICTA WRIGHTII*) В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. В. Рябова, В. М. Рябов

Вятский государственный университет, ryapitschi@yandex.ru

Дендрискостикта Райта – *Dendriscosticta wrightii* Tuck. (синоним *Sticta wrightii*) – достаточно редкий лишайник на территории Российской Федерации, включен в ряд региональных Красных книг. Впервые был обнаружен на территории Кировской области в Нагорском районе.

Ключевые слова: *Dendriscosticta wrightii*, Кировская область, форофит, лишайник.

Дендрискостикта Райта (*Dendriscosticta wrightii* Tuck.) семейства Lobariaceae – лишайник с голарктическим евроазиатско-североамериканским ареалом, относящийся к группе мезофильных лишайников, связанных с темнохвойными лесами («атрацикулярный» реликт) [1]. На территории Российской Федерации встречается в Хабаровском крае, Южной Сибири, на Северном Урале, в Республике Коми, Костромской области [1–3].

Вид внесен в Красные книги Пермского края (II категория) [4], Республики Коми (I категория) [5], вероятно исчез в Республике Карелия и в Вологодской области [6, 7], считается вымершим в Центральной Европе [5].

Наибольшее количество мест произрастания *D. wrightii* на сопредельной с Кировской областью территории отмечено в Республике Коми в Прилузском и Койгородском районах, в том числе в национальном парке «Койгородский», граничащим с участком «Тулашор» заповедника «Нургуш».

Впервые на территории Кировской области *D. wrightii* была обнаружена 05.07.2021 г. в Нагорском районе в 12 выделе 79 квартала Верхневятского участкового лесничества Нагорского лесничества (N 59,53349°, E 52,44847°). Лишайник отмечен на старовозрастных древовидных стволах рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.). Лесное насаждение, расположенное на водоразделе рр. Поперечная и Нырмыч, представляет собой рябинник кисличный

с березой повислой (*Betula pendula* Roth) и осиной (*Populus tremula* L.). В подросте (подлеске) встречаются *S. aucuparia*, ель финская (*Picea x fennica* (Regel) Kom.), пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.). Отмечено совместное использование в качестве форофита стволов рябины как *D. wrightii*, так и лобарией легочной (*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.). Численность *D. wrightii* низкая.

Лесной квартал, где был обнаружен данный лишайник, находится в долгосрочной аренде ООО «Вятский фанерный комбинат». В настоящее время 12 выдел данного квартала выведен из рубок, как место произрастания *L. pulmonaria* – вида, включенного в Красную книгу Кировской области (2 категория), а также как место обитания филина – *Bubo bubo* – вида, включенного в Красные книги Российской Федерации (2 категория) [8], Кировской области (2 категория) [9] и Приложение II списка СИТЕС [10], так как сплошные рубки спелых лесов на больших площадях являются лимитирующим фактором для выявленных редких видов. Тем самым устранено прямое антропогенное влияние на период действия аренды лесного участка (49 лет) на выявленное место произрастания *D. wrightii*.

В виду редкой встречаемости *D. wrightii* на территории европейской части Российской Федерации предлагаем рассмотреть вопрос о включении данного вида в Красную книгу Кировской области.

Работа выполнена в ходе реализации научно-исследовательской работы «Выявление мест обитания и разработка рекомендаций по сохранению редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений, животных и грибов на территории отдельных арендных лесных участков ООО «Вятский фанерный комбинат» (Договор № ЛЗ-21/44/0331/ПР/638/21 от 12.07.2021 г.).

Библиографический список

1. Макрый Т. В. Лишайники рода *Sticta* (Lobariaceae) в России // Ботан. журн. 2008. Т. 93, № 2. С. 304–317.
2. Первые сведения о разнообразии растительного мира национального парка «Койгородский» (подзона южной тайги, Республика Коми) / В. А. Канев, Т. П. Шубина, Г. В. Железнова, Т. Н. Пыстина, Н. А. Семенова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров: Вятский государственный университет, 2021. С. 16–21.
3. Летопись природы государственного природного заповедника «Кологривский лес» имени М. Г. Синицына (2019 год) / сост. Чистяков С. А. Кострома : ООО «Костромской печатный дом», 2020. 136 с.
4. Красная книга Пермского края / под ред. М. А. Бакланова. Пермь : Алдари, 2018. С. 141.
5. Красная книга Республики Коми. Сыктывкар : ООО «Коми республиканская типография», 2019. 768 с.
6. Красная книга Республики Карелия / Гл. редактор О. Л. Кузнецов. Белгород : КОНСТАНТА, 2020. 448 с.
7. Красная книга Вологодской области. Т. 2. Растения и грибы / под ред. Г. Ю. Конечная, Т. А. Суслова. Вологда : ВГПУ, Изд-во «Русь», 2004. 360 с.
8. Красная книга Российской Федерации. Животные. М. : Астрель, 2001. 863 с.

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. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2014. 336 с.

10. СИТЕС [Электронный ресурс]. – URL: <https://cites.org/eng> (дата обращения: 28.03.2022).

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ВИДОВОЙ СОСТАВ МОХООБРАЗНЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА

Ю. В. Ноздрина, А. С. Дюкова

*Костромской государственный университет,
annadyukova.kgu@mail.ru; kaf_bio@ksu.edu.ru*

В статье приводятся результаты исследования бриофлоры Кологривского участка Государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына, представлена таксономическая структура мохообразных на территории заповедника, проведены анализ и сравнение видового разнообразия мхов в разных точках сбора. На основе анализа составлен флористический список выявленных растений.

Ключевые слова: Государственный природный заповедник «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына, мохообразные, бриофлора, таксономическая структура, флористический состав.

Во флорах крупных регионов 1/4–1/5 от общего видового разнообразия высших растений приходится на долю мохообразных [1]. Вместе с тем мохообразные на сегодняшний день остаются одной из наименее изученных в систематическом отношении групп высших растений [2]. Углубленные исследования растительности России, проводимые за прошедшие годы, вызвали повышенный интерес к анализу мохового покрова [1].

В связи со своим значением в различных растительных сообществах мхи являются объектами геоботанических работ, также используются при классификации фитоценозов [3] и служат великолепными индикаторами наличия или отсутствия различных элементов в атмосфере или субстрате [4].

Исследование разнообразия мхов проводили в летний период 2021 г. на территории Кологривского участка Государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына. Всего обследовано 11 участков, различавшихся между собой степенью увлажненности и микрорельефом.

В результате проведенных исследований определено 30 видов мохообразных (рис.). Максимальным числом видов представлен класс бриевых мхов, минимальным – классы юнгерманиевые и маршанциевые печеночники.

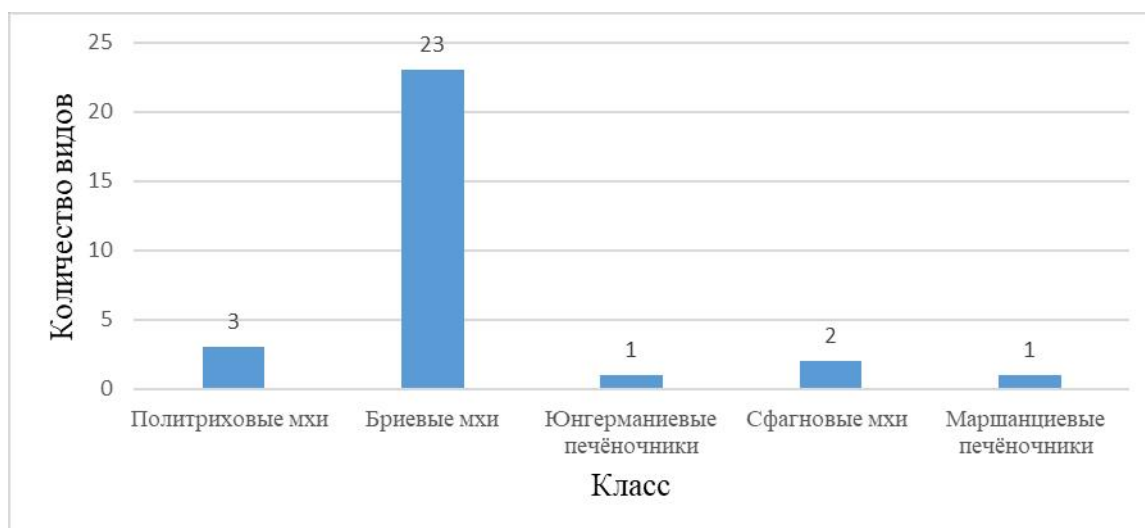


Рис. Распределение видов мохообразных по классам

Из диаграммы видно, что большинство найденных видов относятся к классу бриевые мхи (23 вида), чаще среди них встречаются *Neckera pennata* Hedw. и *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. Класс политриховых мхов представлен 3 видами, один из которых является доминирующим – *Polytrichum commune* Hedw. Виды печеночных мхов являются самыми редкими, кроме *Marchantia polymorpha* L., произрастающей чаще на бревнах и очень влажной почве. В классе сфагновые мхи встречено всего 2 вида: *Sphagnum russowii* Warnst. и *Sp. fallax* (H.Klinggr.) H.Klinggr.; первый является довольно редким для Костромской области, в отличие от второго, который произрастает большим количеством куртинок на почве.

Флористический состав мохообразных на исследованной территории представлен в таблице.

Таблица

Флористический состав мохообразных

Название класса	Название растения	
	Русское	Латинской
1	2	3
1. Политриховые мхи (Polytrichopsida Ochura, Żarnowiec & Bednarek-Ochura.)	Политрихум обыкновенный	<i>Polytrichum commune</i> Hedw.
	Политрихум красивый	<i>Polytrichum formosum</i> Hedw.
	Политрихум можжевельниковидный	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw.
2. Бриевые мхи (Bryopsida Horan.)	Дикранум удлиненный	<i>Dicranum elongatum</i> Schleich. ex Schwägr.
	Неккера перистая	<i>Neckera pennata</i> Hedw.
	Гилокомиум блестящий	<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Bruch et al.
	Климациум древовидный	<i>Climacium dendroides</i> (Hedw.) F.Weber & D.Mohr
	Циртомниум кожистолистный	<i>Cyrtomnium humenophyllum</i> (B. S. G.) Holmen
	Мниум мелкоколючковый	<i>Mnium spinulosum</i> Bruch et al.

Окончание таблицы

1	2	3
	Мниум морщинистый	<i>Mnium rugicum</i> Laur.
	Родобриум розовый	<i>Rhodobryum roseum</i> (Hedw.) Limpr.
	Леукобриум сизый	<i>Leucobryum glaucum</i> (Hedw.) Ångstr.
	Дикранелла шиловидная	<i>Dicranella subulata</i> (Hedw.) Schimp.
	Дикранелла разностороннелистная	<i>Dicranella heteromalla</i> (Hedw.) Schimp.
	Бриум мелкокрайнолистный	<i>Brium microlophyllum</i> Philib.
	Мниум цинклидиевидный	<i>Mnium cinclidioides</i> Hueb.
	Ритидиадельфус трехгранный	<i>Rhytidiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Warnst.
	Мниум сомнительный	<i>Mnium ambiguum</i> H. Muell.
	Дитрихум крошечный	<i>Ditrichum pusillum</i> (Hedw.) Hampe.
	Мниум согнутый	<i>Mnium curvatulum</i> (Lindb.) Limpr.
	Платигириум ползучий	<i>Platygyrium repens</i> (Brid.) Bruch et al.
	Дикранум метловидный	<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.
	Мниум звездчатый	<i>Mnium stellare</i> Hedw.
	Дикранум скученный	<i>Dicranum flexicaule</i> Brid.
	Мниум ложноточечный	<i>Mnium pseudopunctatum</i> Bruch et Schump.
	Дикранум многоножковый	<i>Dicranum polysetum</i> Sw.
3. Юнгерманиевые печеночники (Jungermanniopsida Stotler et Crand.-Stotl.)	Птилидиум красивый	<i>Ptilidium pulcherrimum</i> (Weber) Vain.
4. Сфагновые мхи (Sphagnopsida Schimp.)	Сфагнум Руссова	<i>Sphagnum russowii</i> Warnst.
	Сфагнум обманчивый	<i>Sphagnum fallax</i> (H.Klinggr.) H.Klinggr.
5. Маршанциевые печеночники (Marchantiopsida Cronquist, Takht. et W. Zimm.)	Маршанция многообразная	<i>Marchantia polymorpha</i> L.

Распределение видов мхов было неравномерным на различных участках исследования. Наибольшее число видов обнаружено в более влажных местах (в сырых заболачиваемых лесах долгомошниках, на мокрых лугах и болотах). Здесь преобладали виды родов *Polytrichum* Hedw. и *Mnium* Hedw., *Sp. fallax*, *Sp. russowii*, *M. polymorpha*, *Ptilidium pulcherrimum* (Weber) Vain. На участках с более сухой почвой чаще встречались виды родов *Dicranum* Hedw. и *Dicranella* (Müll.Hal.) Schimp.

Таким образом, за период исследования на территории Государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Синицына обнаружено 30 видов мохообразных, относящихся к 5 классам: политриховые мхи, бриевые мхи, юнгерманиевые печеночники, сфагновые мхи, маршанциевые печеночники. Наибольшее число видов (23) относятся к классу бриевые мхи, в классах юнгерманиевые и маршанциевые печеночники обнаружено по одному виду в каждом. Больше видовое разнообразие мохообразных выявлено на участках с избыточным увлажнением и достаточным затенением.

Библиографический список

1. Писаренко О. Ю. Листостебельные мхи Салаиро-Кузнецкого региона и прилегающих равнин Западной Сибири: разнообразие и закономерности распределения : дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.01. Новосибирск, 2016. 85 с.
2. Попова Н. Н. Бриофлора Среднерусской возвышенности: хорология, антропогенная трансформация и проблемы сохранения видового разнообразия : автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05. Воронеж, 1998. 38 с.
3. Рубцова А. В. Руководство по изучению мохообразных : учеб.-метод. пособие. Ижевск : Издательский центр «Удмуртский университет», 2018. 104 с.
4. Жалов Х. Х., Хайдаров Х. К., Абдуллаева Ф. Б. Мохообразные как биоиндикаторы загрязнения окружающей среды // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель : материалы IX Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Екатеринбург, 20–25 августа 2012 г.). Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2012. С. 100–102.

СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ *NIGELLA SATIVA* L. В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА

А. В. Махмудов¹, О. С. Абдураимов¹, Ш. Б. Эрдонов²

¹ Институт ботаники АН РУз,
azizbek.mahmudov@inbox.ru, ozodbek88@bk.ru

² Ташкентский ботанический сад при институте ботаники АН РУз,
erdonov.sherzod@mail.ru

Статья посвящена изучению биоэкологических особенностей чернушки посевной (*Nigella sativa* L.) в разных условиях интродукции. По результатам фенологических исследований выявлены отличия сроков наступления и прохождения фаз сезонного развития и вариабельность морфометрических параметров в связи с этим.

Ключевые слова: *Nigella sativa*, богарные земли, ботанический сад, вегетация, рост и развитие, температура воздуха, влажность воздуха, температура поверхности почвы, Узбекистан.

Род чернушка (*Nigella*) принадлежит к семейству лютиковых (Ranunculaceae), в который входит около 25 видов, распространенных в Западной Европе, Северной Африке и Западной Азии. На территории России и сопредельных стран встречаются 10–11 видов [1]. Во флоре Узбекистана от-

мечено два вида рода: чернушка бухарская (*Nigella bucharica* Schipcz.) и чернушка цельнолистная (*Nigella integrifolia* Regel) [2].

Чернушка посевная (*Nigella sativa* L.) – известное лекарственное и пряно-ароматическое растение. Имеет другие название: черный тмин, калинджи, сейдена, седена, римский кориандр, хлебный тмин и др. Является однолетним травянистым растением с прямостоячим разветвленным побегом высотой от 20 до 70 см со светло-зеленым, слегка сизоватым стеблем. Листья дважды-, трижды перисто-рассеченные с многочисленными линейными сегментами. Цветки одиночные, правильные, обоеполые, 2–4 см в диаметре. Чашелистики голубого цвета, венчик состоит из 5–6 лепестков-нектарников. Пыльники тупые, слегка заостренные. Плод – вздувающаяся многолистовка, листовок обычно от 3 до 7. Семена небольшие, трехгранные, морщинисто-бугорчатые, черные. Они содержат от 20 до 49% жирного масла, 0,8–1,5% эфирного масла, фермент липазунигедазу, сапонины, гликозид нигеллин, тимохинон, дубильные и горькие вещества, алкалоиды, ароматические углеводороды [3].

В странах Средиземноморья чернушка посевная рассматривается как высокорентабельная культура в органическом земледелии [4]. Химический состав семян *N. sativa* в зависимости от места произрастания и условий возделывания изменяется в широких пределах, наиболее полно изучался в странах арабского мира. На территории СНГ такие исследования наиболее развиты в Дагестане, Ставрополье, Крыму и Беларуси. Установлено, что многочисленные фармакологические эффекты *N. sativa* находятся в тесной корреляции с большим разнообразием в семенах биологически активных соединений (более 100 соединений) [5]. В состав семян нигеллы посевной входят жиры (до 53%), белки (16–28,3%), углеводы (24,9–33,9%), эфирные масла (до 1,4–1,9%) и другие классы соединений [6]. Эфирное масло содержит: р-цимен (7–41,8%), тимохинон (10,3–57%), тимогидрохинон, дитимохинон, этиллинолеат (9,4%), α-пинен (9,3%), α-туйен 5,6–13,9%), этилолеат (2,7%), β-пинен (2,2–2,96%), лимонен (1,6–2,11%), карвакрол (2,85–12%), камфен (0,06%), лонгифолен (1–8%), 4-терпинеол (2–7%), t-анетол (0,25–4%), сабинен (1,18–1,50%), 4,5-эпоксид-1-изопропил-4-метил-1-циклогексен (1,80%), 4-терпинеол (1,22%) и др. [7].

Данное исследование проводится в рамках государственного прикладного проекта №А-ФА-106 «Создание плантаций чернушки посевной (*Nigella sativa*), льна обыкновенного (*Linum ussitatissimum*) и элвендии персидской (*Elwendia persica*) на богарных землях адырных зон Республики».

Изучение фенологических особенностей чернушки посевной проводится в двух условиях (рис. 1): 1) в трех богарных зонах Республики – на территории лесного хозяйства Пишигар (высота 702 м над.у.м.), на землях фермерского хозяйства Мальгузар (660 м) (обе находятся на хребте Мальгузар), на землях района Хатырчи Навоийской области (718 м); 2) в Ташкентском ботаническом саду им. акад. Ф. Н. Русанова (473,3 м).



Рис. 1. Районы исследования

Посев семян на богарных землях проводили в первой декада февраля, а в условиях ботанического сада – в середине февраля. Глубина заделки семян 1,5–2 см. Фенологические наблюдения проводили каждые 3 дня с начала февраля до конца июня по общепринятой методике для однолетних растений [8]. Результаты исследований статистически обработаны по методике Рокицкого [9] и с использованием программы Past 3.

Заложение цветков у чернушки посевной происходит в конце первой декады мая. Высота растений в это время в условиях богарных земель почти одинакова – 25–28 см, а в ботаническом саду 34–36 см. Число листьев в среднем 10–12. Корневая система представлена главным корнем, длина которого составляет 14–22 см, и 6–8 боковыми корнями второго и третьего порядков (рис. 2).

Срок от появления до развития бутонов (от зеленого до окрашенного) – 10–12 дней. Начало цветения отмечалось в середине мая. В этот период высота растений составила в среднем 30,8–42,7 см. В условиях богарных земель на одном растении формировалось от 8 до 14 цветков, а в ботаническом саду 15–22. Массовое цветение на богарных землях было в конце мая, а в ботаническом саду – в начале июня. Продолжительность всего периода цветения до 25–30 дней. Плодоношение у чернушки посевной на богарных землях наблюдается в начале июня, а в ботаническом саду – во второй декаде июня. Созревание плодов коррелирует с процессом формирования семян (рис. 3).



А

Б

Рис. 2. Цветения *Nigella sativa*: А – богарные земли; Б – Ботанический сад

Во время цветения *N. sativa* зафиксированы показатели влажности воздуха, температуры воздуха и поверхности почвы. В ботаническом саду среднемесячная температура во время цветения составила 21,1 °С. Фактическая температура месяца (май) по данным наблюдений 24,6 °С. Самая низкая температура воздуха отмечена 1 мая – 13,4 °С, самая высокая – 31 мая – 37,8 °С. Температура поверхности почвы на 3–4 °С ниже температуры воздуха. Сумма осадков отмечена в количестве 18–22 мм.



Рис. 3. Плоды и семена *Nigella sativa*

На богарных землях среднемесячная температура воздуха во время цветения (в мае) составила 21,8 °С. Фактическая температура месяца по данным наблюдений 24,5 °С. Самая низкая температура воздуха отмечена 14 мая – 9,9 °С, самая высокая, как и в ботаническом саду, 31 мая – 39,5 °С. Температура поверхности почвы также была ниже температуры воздуха на 3–4 °С. Сумма осадков составила 15–17 мм.

В условиях ботанического сада семена *N. sativa* образуются в третьей декаде июня, а на богарных землях этот срок наступает раньше (на 4–6 дней). Семена формируются около 10–12 дней. В каждой коробочке образуются порядка 75–90 шт. семян, в размере 0,1–0,2 мм. Реальная семенная продуктивность одного растения в среднем составляет в условиях ботанического сада $51,9 \pm 3,94$ шт., на богарных землях – в Мальгузаре $42,5 \pm 2,10$ шт.; Пишагаре

41,1±1,81 шт.; Хатырчинском районе 42,5±2,10 шт. Это объясняется отличием климатических факторов: влажности воздуха, температуры воздуха и поверхности почвы во время вегетации растения (рис. 4.).

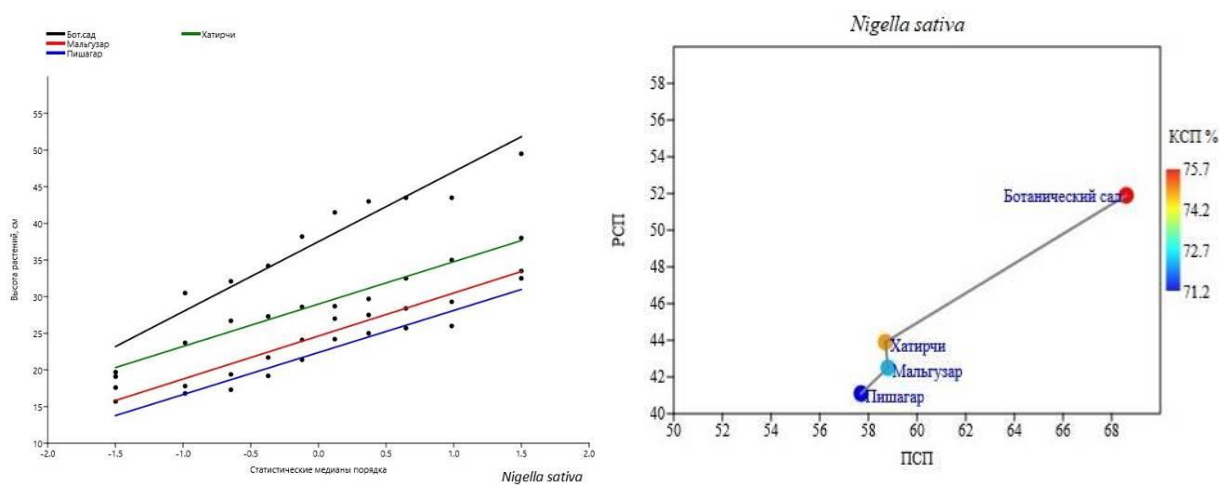


Рис. 4. Семенная продуктивность *Nigella sativa* в разных условиях Узбекистана

В течение вегетационного периода проводились интродукционные испытания *N. sativa* в разных условиях Узбекистана. Особи изучаемого вида за весь период наблюдения проходили полный цикл развития, достигали генеративного периода, у них завязывались плоды и образовывались жизнеспособные семена.

Таким образом, по результатам фенологических исследований выявлены отличия сроков наступления и прохождения фаз сезонного развития и вариабельность морфометрических параметров в связи с этим. Появление бутонов у *N. sativa* в условиях интродукции наблюдается 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 наступает с начала по конец июня. Окончание вегетации наблюдается в конце июня – начале июля. Продолжительность вегетации на богарных землях 130–135 дней, в ботаническом саду 135–145 дней. Полученные результаты, показали, что *N. sativa* можно выращивать в богарных зонах Республики Узбекистан для получения качественного сырья.

Библиографический список

1. Прохоров В. Н. Нигелла – ценная хозяйственно-полезная культура (обзор литературы) // Овощи России. 2021. № 4. С. 111–123. doi: 10.18619/2072-9146-2021-4-111-123
2. The Flora of Uzbekistan Project / A. N. Sennikov, K. Sh. Tojibaev, F. O. Khassanov, N. Yu. Beshko // Phytotaxa. 2016. Vol. 282 (2). P. 107–118. doi: 10.11646/phytotaxa.282.2.2
3. Abou-Basha L., Rashed M. S., Aboul-Enein H. Y. Thin layer chromatographic assay of thymoquinone in black seed oil and identification of dithymoquinone and thymol // Journal of liquid chromatography. 1995. No. 18. P. 105–115. doi: 10.1080/10826079508009224
4. A comparative techno-economic analysis of organic and conventional *Nigella sativa* L. crop production in Greece / E. Stefanopoulou, I. Roussis, K. Tsimpoukas, S. Karidogianni,

I. Kakabouki, A. Folina, D. Bilalis // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture. ClujNapoca: University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine. 2020. Vol. 77(1). P. 150–153. doi: 10.15835/buasvmcn-hort:2019.0018

5. Ramadan M. F. Nutritional value, functional properties and nutraceutical applications of black cumin (*Nigella sativa* L.): an overview // International Journal of Food Science & Technology. 2007. Vol. 42 (10). P. 1208–1218. doi: 10.1111/j.1365-2621.2006.01417.x

6. Beyzi E., Karer Ş. Effects of Sowing Times and Boron Applications on Agronomic and Quality Properties of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) // Journal of the Institute of Science & Technology. 2020. Vol. 10(3). P. 2227–2234. doi: 10.21597/jist.718441

7. Volatile compounds of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds cultivated in Bangladesh and India / Y. Kabir, Y. Akasaka-Hashimoto, K. Kubota, M. Komai // Heliyon. 2020. Vol. 6(10). doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05343

8. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск : Наука, 1974. 152 с.

9. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. М. : Колос, 1973. 327 с.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ЖИЗНЕННОСТЬ ЛАБАЗНИКА ВЯЗОЛИСТНОГО (*FILIPENDULA ULMARIA* (L.) MAXIM.) В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ МЕСТООБИТАНИЙ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Н. Ю. Егорова, В. Н. Сулейманова

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

Приводятся данные по изучению биологической продуктивности *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. Показано, что наибольшая биомасса образуется у *F. ulmaria* в сообществах среднелугных и долгодлугных лугов. По комплексу признаков как вегетативной, так и генеративной сфер большинство изучаемых ценопопуляций исследуемого вида относятся к процветающему типу.

Ключевые слова: *Filipendula ulmaria*, биологическая продуктивность, запас фитомассы, виталитет, жизненность.

Filipendula ulmaria (L.) Maxim. – коротко-корневищный травянистый поликарпик из сем. Rosaceae. Вид распространен в Европе, Малой и Средней Азии, в Западной и Восточной Сибири, Северной Монголии по берегам водоемов, на низинных лугах и травяных болотах, во влажных лесах, на суходольных лугах, в березовых колках, по опушкам лесов, на вырубках [1].

F. ulmaria – лекарственное растение с разнообразными терапевтическими свойствами. В официальной медицине цветки применяются в качестве противовоспалительного и ранозаживляющего средства [2]; в народной медицине используется при самых разнообразных заболеваниях в виде отваров, настоев, настоек и мазей [3]. Современными исследованиями установлено,

что растения этого вида отличаются высоким содержанием фенольных соединений, алкалоидов, полисахаридов, аминокислот [4].

F. ulmaria имеет значительный ресурсный потенциал и отличается высокими сырьевыми запасами во многих регионах России [5, 6].

Цель настоящего исследования – оценить биологическую продуктивность и состояние ценопопуляций *F. ulmaria* в растительных сообществах южной тайги Кировской области.

Исследования проводили в 2021 г. в четырех фитоценозах с доминированием *F. ulmaria* в травяном покрове (подзона южной тайги в пределах Кировской области).

Фитоценоз № 1 (ЦП 1) – таволгово-вейниковый пойменный луг, расположен в центральной части поймы р. Вятка. В травяном покрове с общим проективным покрытием 75% преобладают *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *F. ulmaria*, значительно участие в травостое и других корневищных злаков (*Phleum pratense* L., *Alopecurus pratensis* L., *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, *Dactylis glomerata* L., *Agrostis tenuis* Sibth.). Доля участия видов разнотравья составляет 3–5% (*Achillea millefolium* L., *Plantago major* L., *Rumex crispus* L.).

Фитоценоз № 2 (ЦП 2) – разнотравно-таволгово-злаковый пойменный луг, расположен в нижней части поймы р. Вятка. Доминантами травяного яруса (проективное покрытие 90%) являются *Festuca pratensis* Huds., *F. ulmaria*, *Thalictrum flavum* L., *Equisetum arvense* L., *Galium mollugo* L., *Geranium pratense* L., *Veronica longifolia* L.

Фитоценоз № 3 (ЦП 3) – березняк пойменно-травяный, расположен в центральной части поймы р. Быстрица. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *F. ulmaria*, *Vaccinium myrtillus* L., *Rubus saxatilis* L., *Rubus arcticus* L., *Thelypteris palustris* Schott, *Vaccinium vitis-idaea* L. В подлеске присутствуют *Sorbus aucuparia* L., *Salix cinerea* L., *Rosa acicularis* Lindl., *Frangula alnus* Mill., *Rubus idaeus* L. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса – 60%.

Фитоценоз № 4 (ЦП 4) – зарастающая вырубка из-под сосняка травяно-вейниково-снытево-разнотравная. В травяном покрове с общим проективным покрытием 80% преобладают следующие виды – *F. ulmaria*, *Aegopodium podagraria* L., *Trifolium pratense* L., *Vicia cracca* L., *Dactylis glomerata*, *Fragaria vesca* L., *Bromopsis inermis*, *Campanula patula* L. В подлеске отмечены *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Woloszcz.) Klásk. и *Rosa majalis* Herrm.

Надземную фитомассу определяли в период максимального ее развития укосным методом на учетных площадках площадью 1 м² в 15–20-кратной повторности. Затем растения высушивали в хорошо проветриваемом помещении до воздушно-сухого состояния и взвешивали.

Виталитетный тип ценопопуляции оценивали по методике, предложенной Ю. А. Злобиным [7] с использованием критерия Q: процветающие – $Q = 1/2(a+b) > c$, равновесные – $Q = 1/2(a+b) = c$, депрессивные – $Q = 1/2(a+b) < c$.

Одним из основных показателей биологической продуктивности является запас фитомассы. Исследование запасов фитомассы *F. ulmaria* показало, что максимальные ее значения характерны для пойменных лугов – ЦП 1, 2, затем следуют березняк пойменно-травяной (ЦП 3) и зарастающая вырубка из-под сосняка травяного вейниково-снытево-разнотравная – ЦП 4 (рис. 1).

Запасы надземной фитомассы в сообществах среднепойменных (ЦП 1) и долгопойменных лугов (ЦП 2) составляют 187,2 и 300,1 г/м² соответственно. Согласно данным литературы [8], запасы воздушно-сухой биомассы на пойменных лугах могут изменяться от 65,1 до 237,0 г/м² в зависимости от типа лугов.

Несколько ниже значение биомассы в березняке пойменно-травяном (ЦП 3) – 138,2 г/м². Наименее высокий запас сырья зарегистрирован во вторичном сообществе (вырубка из-под сосняка травяного вейниково-снытево-разнотравная), где он составил всего 54,9 г/м².

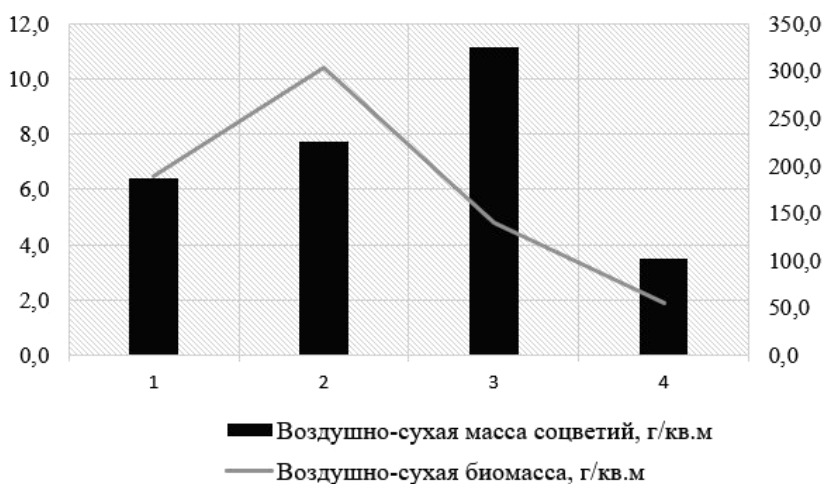


Рис. 1. Биологическая продуктивность надземной биомассы и соцветий *Filipendula ulmaria* в исследуемых ценопопуляциях (воздушно-сухой вес, г/м²)

Продуктивность соцветий *F. ulmaria* в исследуемых растительных сообществах колеблется от 3,5 до 11,2 г/м² (рис. 1). Наиболее высокие значения данного показателя зафиксированы в березняке пойменно-травяном (ЦП 3) – 11,2 г/м², далее следуют разнотравно-таволгово-злаковый пойменный луг (ЦП 2) – 7,7 г/м² и таволгово-вейниковый пойменный луг (ЦП 1) – 6,4 г/м². Самые низкие значения воздушно-сухой массы соцветий выявлены на зарастающей вырубке из-под сосняка травяного вейниково-снытево-разнотравной (ЦП 4) – 3,5 г/м².

Распределение особей *F. ulmaria* по классам виталитета показало, что преобладающим в большинстве рассматриваемых ЦП является промежуточный класс (b) – от 38,9 до 66,7%. Доля особей низшего класса составляет от 8,3% (ЦП 2) до 100% (ЦП 4), на а-класс приходится от 0% (ЦП 4) до 38,9% (ЦП 1) от общего количества особей (рис. 2).

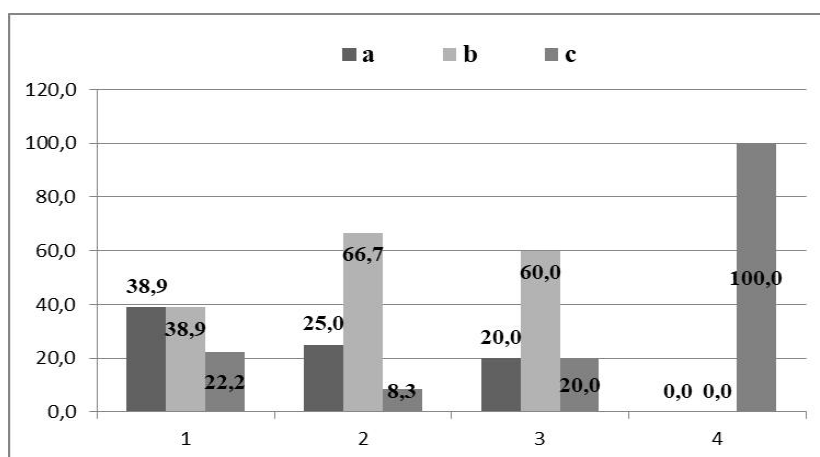


Рис. 2. Виталитетный спектр ценопопуляции *Filipendula ulmaria*: по оси ординат доли особей различных классов виталитета в % соотношении; по оси абсцисс – классы виталитета: а – высший, b – средний, с – низший

ЦП 1–3 имеют левосторонний спектр виталитетной гистограммы и отнесены к категории процветающих. ЦП 4 является депрессивной (рис. 2).

Таким образом, наибольшая биомасса образуется у *F. ulmaria* в сообществах среднепойменных и долгопойменных лугов (ЦП 1, 2). Эти местообитания можно рассматривать в качестве потенциальных источников растительного сырья этого вида.

Данные о виталитетном (жизненном) состоянии изучаемых ценопопуляций, показали, что они неоднородны по своему составу. По комплексу признаков как вегетативной, так и генеративной сфер большинство ЦП (1–3) относятся к процветающему типу.

Библиографический список

1. Выдрина С. Н. *Filipendula* Miller – Лабазник // Флора Сибири. Rosaceae. Новосибирск : Наука, 1988. Т. 8. С. 97–100.
2. Атлас лекарственных растений России / под ред. В. А. Быкова. М. : РАСХН, ВИЛАР, 2006.
3. Горбачева А. В., Аксиненко С. Г., Пашинский В. Г. Лабазник вязолистный в фитотерапии воспалительных процессов. Томск : Ин-т фармакологии ТНЦ РАМН, 2005. 303 с.
4. Краснов Е. А., Авдеева Е. У. Химический состав растений рода *Filipendula* // Химия растительного сырья. 2012. № 4. С. 5–12.
5. Буданцев А. Л. Некоторые морфометрические показатели и сырьевая фитомасса побегов и клонов *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. на севере Карельского перешейка (Ленинградская область) // Растит. ресурсы. 2003. Т. 39, вып. 4. С. 48–54.
6. Буданцев А. Л., Покровская К. С. Оценка сырьевой продуктивности *Filipendula ulmaria* (Rosaceae) в Ленинградской и Псковской областях и возможность ее эмпирического прогноза // Растит. ресурсы. 2005. Т. 41, вып. 2. С. 85–96.
7. Злобин Ю. А. Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста. Сумы : Универ. книга, 2009. 263 с.
8. Рыжова Л. В., Ибраев И. В. Состав и биомасса некоторых пойменных лугов заповедника «Большая Кокшага» // Современные проблемы естественных наук и медицины : сборник статей Всерос. науч. конф., Йошкар-Ола, 18–22 мая 2020 г. Йошкар-Ола : Марийский гос. ун-т, 2020. Вып. 9. С. 207–210.

О СТРУКТУРЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *GLYCYRRHIZA ECHINATA* L. В БАССЕЙНЕ РЕКИ САМАРА (НИЖНЕЕ ТЕЧЕНИЕ)

В. Н. Ильина

Самарский государственный социально-педагогический университет,
Siva@mail.ru

В статье приведены результаты исследования популяций *Glycyrrhiza echinata* L. в пойме реки Самара (в ее нижнем течении). Установлено негативное воздействие рекреации, уничтожение местообитаний при создании и поддержании инфраструктуры города Самара и населенных пунктов Волжского района Самарской области.

Ключевые слова: *Glycyrrhiza echinata* L., река Самара, пойма, популяция, онтогенетическая структура.

Бассейн реки Самара (приток реки Волги) имеет высокое значение в жизни населения и формировании природных комплексов степного Самарского Заволжья. Нижнее речение реки является высоко освоенной территорией, так как в месте впадения реки в Волгу располагается город Самара, а чуть выше по течению – другие крупные населенные пункты [1–6].

В связи с интенсивным использованием акватории и прилегающей суши, природные комплексы в нижнем течении реки Самары претерпели значительные изменения, что отражается на их экологическом состоянии. Пойменные территории являются уникальным местообитанием для растений и животных. Например, в пойме реки произрастает представитель сем. Fabaceae – *Glycyrrhiza echinata* L. – солодка иглистая. В других местах вид практически не встречается (есть указания для поймы реки Чагры).

В пойме реки Самары, в том числе в черте г. Самара, вид регистрируется в различных по степени увлажнения местообитаниях, формирует моновидовые сообщества, входит в состав заливных и суходольных лугов, отмечается в опушечных сообществах и вдоль дорог (в составе рудеральных группировок). Нередко произрастает совместно с другим видом рода – *Glycyrrhiza glabra* L.

Популяционные исследования осуществляются с 2006 года согласно основным методикам популяционно-онтогенетического направления. Территория исследования охватывает прирусловые участки реки Самары, в том числе озера-старицы на протяжении 40 км (рис. 1). Правый берег реки в нее нижнем течении уже давно застроен или используется в качестве промышленной зоны. Левый берег ранее не испытывал высокой антропогенной нагрузки, однако в настоящее время эта территория активно используется для создания новых городских районов и других промышленных объектов. Тем самым под угрозой исчезновения находятся пойменные природные комплексы, в том числе местообитания редких видов растений и животных.

В ходе работ сделано 140 описаний сообществ с участием солодки иглистой, изучена популяционная структура и современное состояние в условиях возрастающего антропогенного пресса.

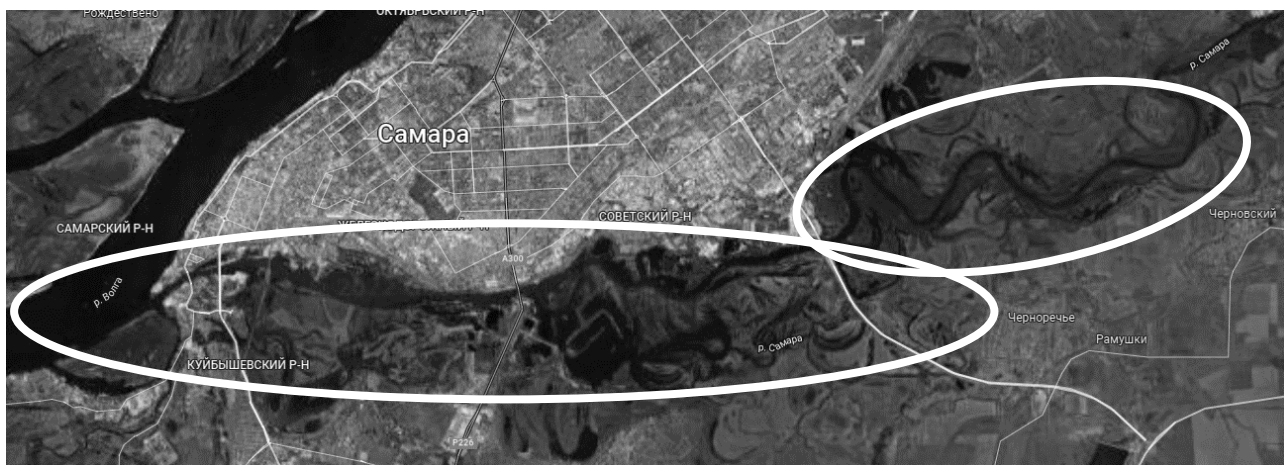


Рис. 1. Территория исследований

Онтогенез солодки иглистой имеет сходные черты с другими видами рода [7–11]. Установлен усредненный базовый спектр популяции в пойме реки Самары (рис. 2). Преобладающей онтогенетической группой является зрелая генеративная, субдоминирующие позиции занимают старые генеративные растения. Прегенеративные особи представлены менее чем 20% от общей численности растений.

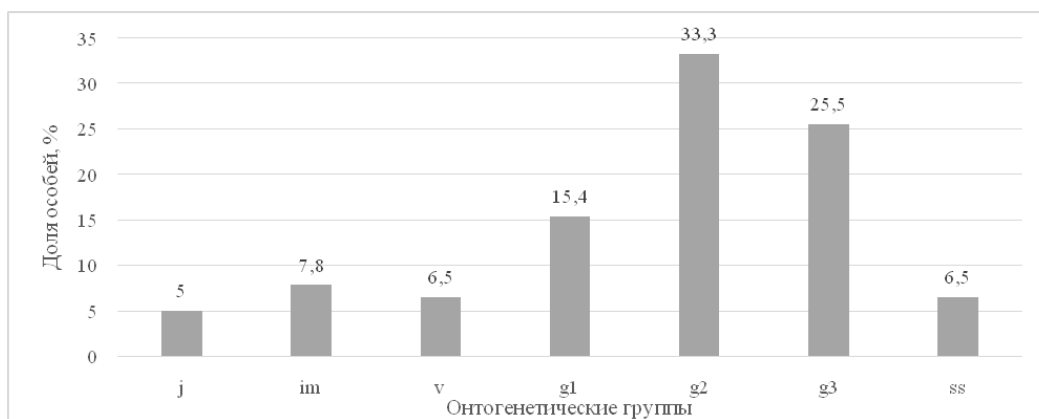


Рис. 2. Онтогенетический спектр популяции

В местах обитания с антропогенной нагрузкой в онтогенетическом спектре возрастает число прегенеративных растений (в среднем до 24%, максимально – до 32%), снижается доля зрелых генеративных особей. Однако при антропогенной нагрузке резко снижается общая численность особей в изучаемых ценопопуляциях, соответственно, сказывающаяся на плотности экземпляров.

Выявленные изменения популяционных параметров на трех стационарных участках (озера Гатное, Банное, Алексеевские) свидетельствуют, что за 15 лет на данных территориях площадь ценопопуляций сократилась на 34%, численность особей – на 41%. Основными факторами, вызвавшими измене-

ния, является рекреация, увеличение числа и площади грунтовых дорог, выкашивание травостоя, образование стихийных свалок, нарушение почвенного покрова (прокладка водоводов, газопроводов, нового моста через р. Самара).

За тот же срок на всей территории исследования произошло сокращение площади популяции на 12%, численности особей – на 16%. Данные наблюдений свидетельствуют о снижении виталитетного уровня популяции.

Библиографический список

1. Голубая книга Самарской области: Редкие и охраняемые гидробиоценозы / под ред. чл.-корр. РАН Г. С. Розенберга и д.б.н. С. В. Саксонова. Самара : Самар. НЦ РАН, 2007. 200 с.

2. Матвеев В. И., Соловьева В. В. Проблемы охраны и рекреационного использования водоемов г. Самары и пути их решения // Методология и методика науч. исслед. в области естествознания : материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию д-ра биол. наук, проф. Л. В. Воржевой. Самара, 2006. С. 240–249.

3. Соловьева В. В., Саксонов С. В., Матвеев В. И. Озера Самары: история, биоразнообразие, проблемы охраны. Тольятти : Кассандра, 2014. 128 с.

4. Ясюк В. П., Митрошенкова А. Е. Биоразнообразие водоемов урбанизированных территорий (на примере озера Банного) // Исследования в области биологии и методики ее преподавания : Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 3(2). Самара : СГПУ, 2003. С. 156–162.

5. Ясюк В. П., Митрошенкова А. Е. Кряжские озера // Краеведческие записки. Вып. XIV. Самара, 2010. С. 9–19.

6. Ясюк В. П., Митрошенкова А. Е. Алексеевские озера // Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы : материалы 2-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 110-летию юбилею д.б.н., проф. Д. Н. Флорова и 75-летию юбилею канд. биол. наук, проф. М. С. Горелова (14 октября 2013 г.). Самара : ПГСГА; ООО «Порто-принт», 2013. С. 183–205.

7. Характеристика ценопопуляций *Glycyrrhiza korshinskyi* Grig. на юго-востоке республики Башкортостан / Л. М. Абрамова, Р. М. Баширова, Ф. К. Муртазина, И. Ю. Усманов // Раст. ресурсы. 2001. Т. 37, вып. 2. С. 24–29.

8. Беляев А. Ю., Вержбицкий И. Б. Аллозимный полиморфизм в популяциях солодки (*Glycyrrhiza*) в районе среднего течения реки Урал // Природные и городские экосистемы: проблемы изучения биоразнообразия. Екатеринбург, 2003. С. 18–23.

9. Беляев А. Ю., Васфилова Е. С. Аллозимный полиморфизм и клоновая структура в популяциях солодки на Южном Урале и в Приуралье // Современное состояние и пути развития популяционной биологии : материалы X Всерос. популяционного семинара. Ижевск, 2008. С. 332–334.

10. Васфилова Е. С., Беляев А. Ю. Онтогенез солодки Коржинского (*Glycyrrhiza korshinskyi* Grig.) // Онтогенетический атлас лекарственных растений : учебное пособие / под ред. Л. А. Жукова. Йошкар-Ола : МарГУ, 2002. Т. 3. С. 108–113.

11. Гранкина В. П., Надежина Т. П. Солодка уральская. Новосибирск : Наука, 1993. 152 с.

**ОСОБЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ
CYPRIPEDIUM CALCEOLUS L. (ORCHIDACEAE JUSS.)
В ЕЛОВЫХ ЛЕСАХ НА СЕВЕРЕ ТАТАРСТАНА**

М. Б. Фардеева, П. Ю. Искандиров, А. Е. Эскина
Казанский (Приволжский) федеральный университет, orchis@inbox.ru

Отмечено, что в популяции *Cypripedium calceolus* L. на севере Республики Татарстан в условиях еловых лесов численность побегов в куртинах в среднем составляет 3,5 шт., при этом увеличивается число одиночных генеративных особей до 28%. В популяциях вида на северо-востоке региона среднее число побегов в куртине – 6,4 шт., а число одиночных генеративных особей – 4,7%.

Ключевые слова: редкий вид, *Cypripedium calceolus*, численность, число побегов в куртине.

В настоящее время все исследования, связанные с изучением редких и исчезающих видов, к которым относятся представители семейства Orchidaceae Juss., не теряют своей значимости и актуальности для сохранения биоразнообразия, которое остается приоритетным направлением экологии и охраны природы [1]. Изучение структуры, динамики численности популяций редких растений на участках разного природопользования необходимо для оценки «жизнеспособности» видов в современных условиях изменения климата и антропогенных воздействий. Целью исследования было выявить особенности распространения *Cypripedium calceolus* L. на севере Республики Татарстан (РТ) и оценить состояние популяций в условиях неохраемых участков.

Балтасинский и Кукморский районы РТ, где были найдены новые популяции вида, относятся к Волжско-Вятскому возвышенно-равнинному региону темнохвойно-широколиственных неморальных лесов с фрагментами южно-таежных елово-пихтовых и сосново-еловых зеленомошных лесов, к Правобережно-Вятскому эрозионно-равнинному ландшафтному району. Климат района характеризуется, как более влажный и холодный, сумма осадков в среднем составляет 500–600 мм [2].

В течение 2020–2021 гг. изучали две популяции *C. calceolus*: ценопопуляция 1 (ЦП1) в ельнике с пихтой зеленомошном на выровненном участке леса (село Ципья, Балтасинский район РТ; координаты N 56,328°; E 50,171°); ЦП2 в ельнике с березой и пихтой мшистом на склоне западной экспозиции (деревня Верхний Кузмель, Кукморский район РТ, координаты N 56,187°, E 50,532°), почвы дерново-подзолистые, подстилаемые карбонатными породами. Для анализа влияния метеорологических условий на состояние исследуемых популяций *C. calceolus* использованы средние значения климатических факторов за вегетационный период с ближайших до пробных площадей

метеостанций (рис. 1). Значения температуры воздуха, количества осадков и относительной влажности усреднены за вегетационный сезон – с мая по сентябрь (табл. 1).

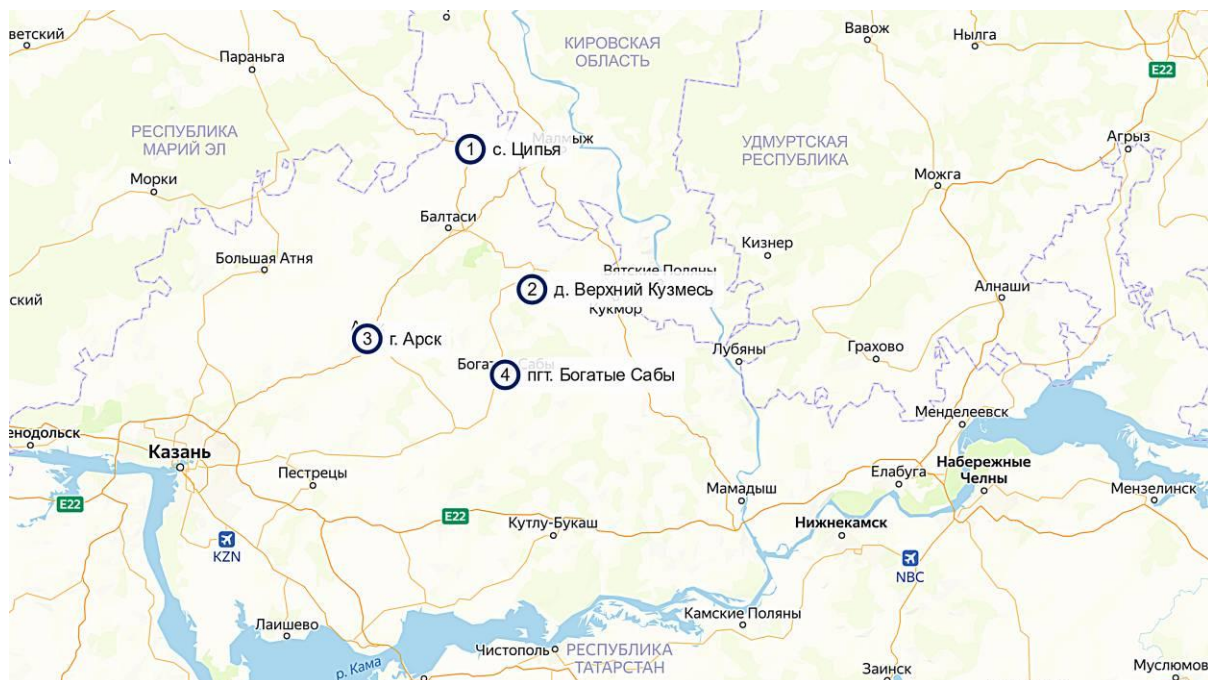


Рис. 1. Местоположение пробных площадей (пунсоны 1–2) и метеостанций (пунсоны 3–4)

Таблица 1

Климатические параметры в районах исследования

Метеопараметры/ Год	Температура воздуха, °С	Количество осадков, мм	Относительная влажность, %
Метеостанция в г. Арск			
2020	15,9	39,8	64
2021	18,2	37,2	57
Метеостанция в пгт. Богатые Сабы			
2020	15,3	15,6	67
2021	17,7	30,0	59

Данные фитоценозы представляют фрагменты южной тайги с преобладанием бореально-неморальных видов растений. Видовой состав трав дается по мере убывания обилия в местообитаниях: ЦП1 – *Cicerbita uralensis* (Rouy) Beauv., *Carex digitata* L., Bernh., *Rubus saxatilis* L., *Cypripedium calceolus* L., *Lathyrus vernus* (L.), *Viola mirabilis* L., *Ajuga reptans* L., *Actaea spicata* L., *Asarum europaeum* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt., *Melica nutans* L., редко отмечаются *Viola selkirkii* Purch ex Goldie, *Pyrola chlorantha* Sw., проективное покрытие мхов 60–70%; ЦП2 – *Carex digitata* L., *Orthilia secunda* (L.) House, *Aegopodium podagraria* L., *Cypripedium calceolus* L., *Stellaria holostea* L., *Oxalis acetosella* L., *Polygonatum multiflorum* (L.) All., *Vicia sylvatica* L., *Pulmonaria obscura* Dumort., проективное покрытие мхов 30–40%.

Численность популяций за два года варьировала незначительно: в ЦП1 от 85 шт. в 2020 г. до 83 в 2021 г., в ЦП2 – от 102 до 95 соответственно. Возрастная структура популяций *C. calceolus* полночленная, спектр – центрированный с преобладанием виргинильных (v) и генеративных (g) особей, доля ювенильных (j) и имматурных (im) растений незначительная (рис. 2).

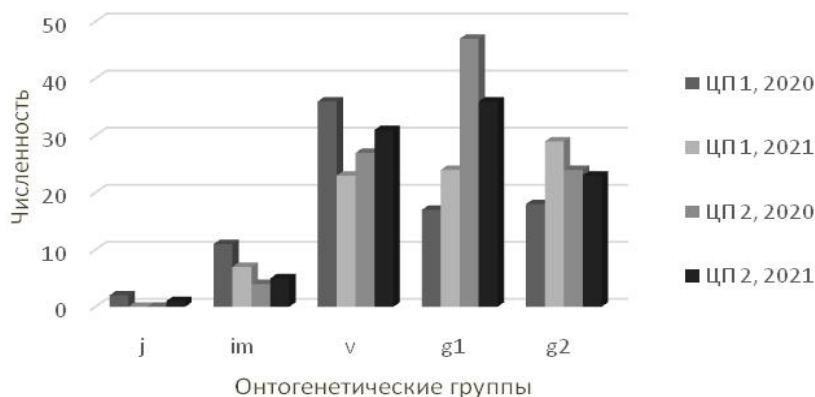


Рис. 2. Возрастная структура ЦП1 и ЦП2 *Cypripedium calceolus* в 2020–2021 гг.

При изучении популяций *C. calceolus* в странах Балтии [3] автор отмечает, что «клональные побеги (раметы) куртины, видимо, ответственны за большую часть колебаний численности, тогда как число генет, возникающих семенным путем, обычно довольно стабильно». Семенным способом образуются ювенильные и имматурные особи, в процессе онтогенеза генеративных генет в результате симподиального разрастания их корневища формируется куртина [3, 4]. В основном куртина состоит из виргинильных и генеративных побегов или только генеративных, представляющих собой раметы, т.е. побеги вегетативного происхождения. При картировании особей на учетных площадках в 2020–2021 гг. было выявлено, что в популяциях кроме куртин отмечались также одиночные виргинильные и генеративные особи.

Таблица 2

Численность генет и рамет куртин *Cypripedium calceolus* в ЦП1 и ЦП2

ЦП/год	Число генет и одиночных побегов				Число куртин и число рамет в куртинах			Общая численность
	j	im	v	g	куртины	v	g	
ЦП1 / 2020	2	11	19	18	11	17	18	85
ЦП1 / 2021	0	7	15	18	14	9	34	83
ЦП2 / 2020	0	4	10	5	13	18	65	102
ЦП2 / 2021	1	3	11	4	13	20	56	95

Сопоставляя численность виргинильных и генеративных побегов внутри куртин за два года, отметили, что в разных эколого-фитоценологических и климатических условиях динамика их численности различна (табл. 2). Причем в ЦП1 число надземных побегов в куртинах составляет 41–50% от общей численности популяции, в ЦП2 – 82–80% соответственно. Летний период 2021 г. отличался высокими средними температурами и меньшей влажно-

стью. При повышении температуры летом, на севере РТ в ЦП1 снизилась доля ювенильных и имматурных растений, но увеличилась доля цветущих генеративных побегов в куртинах почти в 2 раза, а также появились три новые двупобеговые куртины. По-видимому, в холодные вегетационные сезоны (2020 г.), некоторые побеги в куртинах находились в состоянии вторичного покоя под землей. В условиях хорошо прогреваемого склона западной экспозиции на северо-востоке РТ (ЦП2) число одиночных побегов, как и число куртин за два года исследований не изменилось. Однако снизилась численность цветущих генеративных рамет в куртинах, что и привело к незначительному снижению численности всех надземных побегов *C. calceolus* в популяции.

В ЦП1 *C. calceolus* на севере РТ в Балтасинском районе заметно сокращается число и размеры куртин по сравнению с Западно-Казанским ландшафтным районом, где плотность куртин составляет $0,2/1\text{м}^2$, в среднем в куртине 7,2 побега, максимально 12 шт. [5]. Напротив, на севере плотность куртин составляет $0,07/1\text{м}^2$, среднее число побегов в куртине за 2020–2021 гг. составляет 3,6 шт., при этом 28% генеративных особей вообще не образует куртин, т.е. формирование нормальной жизненной формы на севере РТ часто нарушено. В популяции *C. calceolus* на северо-востоке РТ в Кукморском районе плотность куртин, также низкая $0,075/1\text{м}^2$. Однако среднее число побегов составляет 6,4 шт., максимально 15 шт. (2020 г.) и 13 шт. (2021 г.), при этом только 4,7% генеративных особей представлены одиночными побегами. Это обусловлено благоприятными условиями биотопа: хорошо прогреваемым склоном западной экспозиции и более низким проективным покрытием трав на склоне.

Библиографический список

1. Аверьянова Е. А. Динамика популяций, распространение и особенности биологии *Dactylorhiza urvilleana* (Orchidaceae) в Сочинском Причерноморье // Сборник науч. статей по материалам XVIII междунар. науч.-практ. конф. Барнаул, 2019. С. 80–85.
2. Бакин О. В., Рогова Т. В., Ситников А. П. Сосудистые растения Татарстана. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2000. 496 с.
3. Kull T. Fruit-set and recruitment in populations of *Cypripedium calceolus* L. in Estonia // Botanical Journal of the Linnean Society. 1998. Vol. 126. P. 27–38.
4. Вахрамеева М. Г., Денисова Л. В. Род башмачок (венерин башмачок) – *Cypripedium* L. // Биологическая флора Московской области / под. ред. Т. А. Работнова. М. : Изд-во Московского университета, 1978. Вып. 4. С. 50–58.
5. Фардеева М. Б., Лукьянова Ю. А., Шафигуллина Н. Р. Особенности местообитаний и состояние популяций редких орхидей (Orchidaceae) Национального парка «Нижняя Кама» и сопредельных территорий на севере Татарстана (Европейская Россия) // Экосистемы. 2020. Вып. 23. С. 166–182.

ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ СЕМЕЙСТВА АРИАСЕАЕ ВО ФЛОРЕ ТАРКАПЧИГАЙСКОГО БОТАНИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНА

А. С. Абдураимов¹, С. А. Данияров¹, Д. С. Абдураимова²

¹ Гулистанский государственный университет, *abduraimov2017@inbox.ru*

² Академический лицей при Гулистанском государственном университете

В статье приведены сведения о лекарственных растениях семейства Ариасеае во флоре ботанико-географического района Таркапчигай. В ходе исследований выявлено 50 видов семейства Ариасеае, относящихся к 25 родам. По географическим координатам зарегистрированных видов составлены геоинформационные карты.

Ключевые слова: Узбекистан, Таркапчигай, Ариасеае, флора, IUCN.

За последнее время все большее значение приобретают достоверные сведения о распространении растительных ресурсов и других природных богатств, которые имеются в пределах страны. В связи с этим особенно актуальными стали изучение и анализ современного распределения видов растений и их природных сочетаний по биогеографическим регионам, в контексте мониторинга, сохранения и устойчивого использования биоразнообразия. Лекарственные растения находят широкое применение в медицине как для профилактики, так и лечения различных заболеваний сельскохозяйственных животных и человека. Они используются не только в натуральном виде, но и в форме лекарственных препаратов [1]. В настоящее время около 40% медикаментов вырабатывается из растительного сырья. При лечении ряда заболеваний растительные средства занимают ведущее место. Широкое применение растительного сырья, из которого готовят препараты, имеет особое значение в практике лечения, поскольку такие препараты оказываются зачастую более эффективными, чем синтетические [2]. Преимущество лекарственных растений перед синтетическими препаратами заключается в том, что содержащиеся в них вещества действуют комплексно. Лечебное действие растительных средств тем эффективнее, чем полнее сохранено природное сочетание действующих начал. Натуральные лекарственные препараты лучше переносятся организмом, не вызывают побочного действия, в том числе аллергического [3].

По состоянию на начало 2021 г. по данным Международного союза охраны природы (IUCN), было описано около 327 тысяч видов растений, из них лишь 22 тысячи видов используется в медицине [4].

Семейство зонтичные (Ариасеае) принадлежит к числу крупных таксонов цветковых растений. По данным различных авторов оно включает сейчас 474 рода, от 3 922 до 4 050 видов [5]. Представители Ариасеае – в большинстве травянистые растения, очень редко – древесные. Распространение космополитное. Во Флоре СНГ описано 140 родов, содержащих 740 видов [6].

Считается, что зонтичные относятся к числу наиболее полезных для человека семейств покрытосеменных растений [7]. В нем много пищевых, кормовых, пряно-ароматических, эфиромасличных, лекарственных и других растений, которые используются человеком с глубокой древности. Причем многие виды сельдерейных могут быть одновременно пряно-ароматическими, эфиромасличными и лекарственными. Например, из пряно-ароматических и эфиромасличных на первом месте находится кориандр – одна из важнейших технических культур; меньшее значение имеют тмин, укроп, анис, кмин и другие. Но они же одновременно являются и лекарственными растениями. Многие виды сельдерейных с древности широко применяются в восточной медицине. Некоторые из них вошли и в государственные фармакопеи [5].

На территории Узбекистана произрастает около 4 380 видов сосудистых дикорастущих растений, из которых примерно 1 200 в той или иной мере обладают лекарственными свойствами, что свидетельствует о богатом видовом составе растительного мира республики. Однако, в настоящее время в Узбекистане, в научной медицине разрешено использование чуть более 100 видов лекарственных растений, в том числе более 80% из которых составляют дикорастущие виды. Запасы лекарственного сырья не бесконечны [8].

Исследования проводились в 2018–2019 гг. в Таркапчигайском ботанико-географическом районе. Полученные в ходе полевых исследований результаты и гербарные образцы, сохраняемые в Национальном гербарии (TASH) Института ботаники АН РУз, критически проанализированы.

Таркапчигайский район (рис. 1) включает западные отроги Гиссарского хребта, расположенные к югу от Гузара и Дехканабада, на левобережье Кичик-Урударьи и в бассейне р. Таркапчигай (горы Элликбаш, Сакрытау и др.). Юго-восточная граница района проходит по левому водораздельному гребню Таркапчигая [9]. С севера расположены ландшафты аридных низкогорий и среднегорий, широко распространены выходы пестроцветных пород и гипса. Район неоднократно посещался многими крупными ботаниками, здесь работали геоботанические и ресурсоведческие экспедиции, но видовой состав флоры в полной мере до сих пор почти не изучен.

Таркапчигайский ботанико-географический район отличается своими важными хозяйственно-ценными растениями. В ходе исследований проанализирована их встречаемость. Материалы, собранные во время полевых исследований и полученные в результате анализа хранящихся в фонде Национального гербария (TASH) Института ботаники АН РУз данных, показывают, что во флоре этого района встречаются 50 видов, относящихся к 25 родам семейства *Apiaceae*. Лекарственное значение среди них имеют 16 видов из 11 родов (табл.).

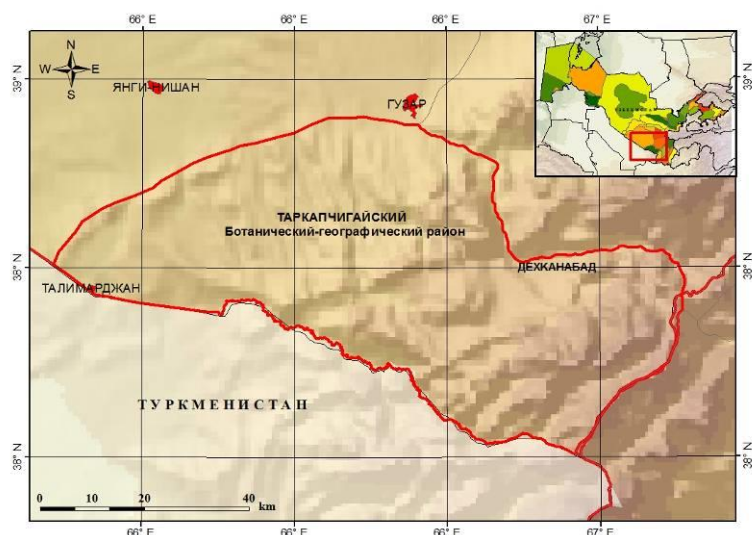


Рис. 1. Таркапчигайский ботанико-географический район

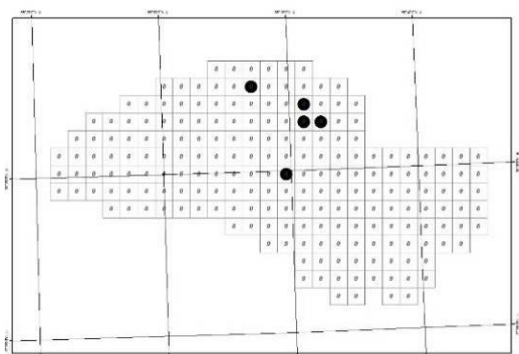
Таблица

**Лекарственные растения семейства Ариасеае
во флоре Таркапчигайского ботанико-географического района**

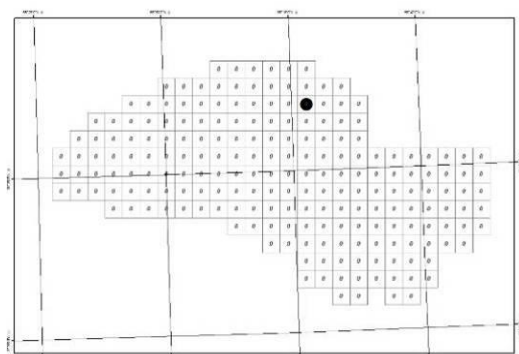
№	Род	Число видов	Хозяйственное значение
1	<i>Anethum</i> L.	1	Пищевое, эфиромасличное, лекарственное
2	<i>Bupleurum</i> L.	1	Лекарственное, кормовое
3	<i>Daucus</i> L.	1	Пищевое, эфиромасличное, лекарственное
4	<i>Elwendia</i> Boiss.	2	Лекарственное, пищевое (ароматное), эфиромасличное
5	<i>Eryngium</i> L.	2	Лекарственное, сорное, эфиромасличное
6	<i>Falcaria</i> Fabr.	1	Лекарственное, пищевое, эфиромасличное
7	<i>Ferula</i> L.	4	Лекарственное, медонос, эфиромасличное, сорное
8	<i>Foeniculum</i> Mill.	1	Лекарственное, пищевое, эфиромасличное
9	<i>Helosciadium</i> Koch.	1	Лекарственное, пищевое
10	<i>Prangos</i> Lindl.	1	Кормовое, эфиромасличное, лекарственное, медонос
11	<i>Scandix</i> L.	1	Лекарственное
Общее		16	

Данный показатель составляет 25,25% от представителей семейства Ариасеае, распространенных во флоре Узбекистана. Виды этого семейства применяются в разных отраслях народного хозяйства в качестве лекарственных, пищевых, эфиромасличных и кормовых растений [6].

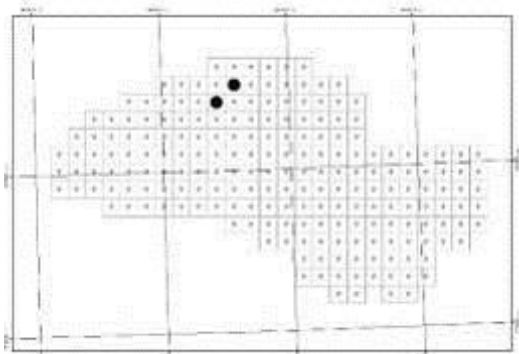
На основе данных литературы и собранных в ходе исследований материалов (применение местным населением) проведен критический анализ по хозяйственному значению зарегистрированных во время полевых исследований растений. Каждый выявленный вид приведен в ячейках сеточных карт (рис. 2).



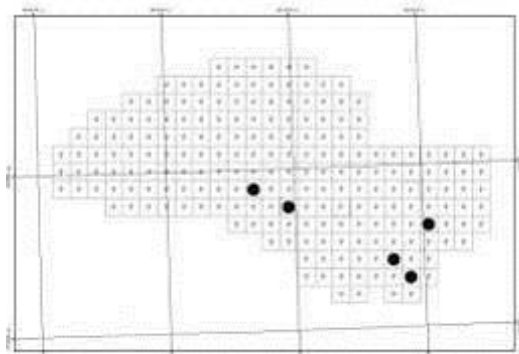
Anethum graveolens



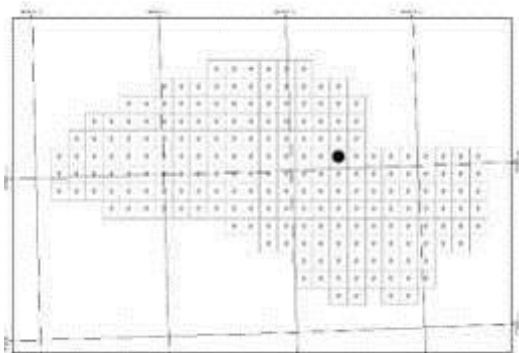
Bupleurum exaltatum



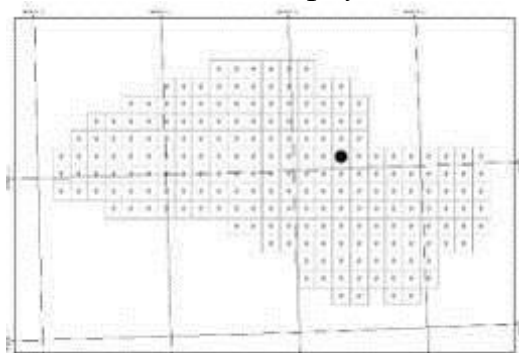
Daucus carota



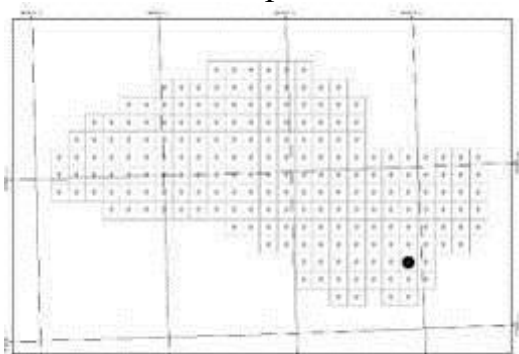
Elwendia chaerophylloides



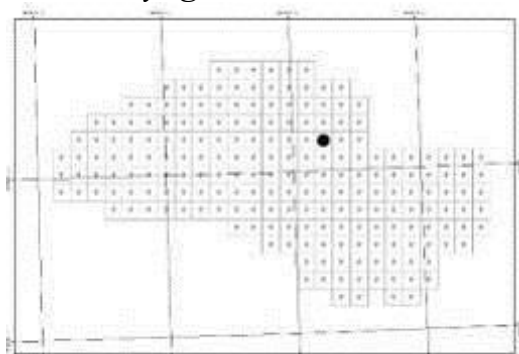
Elwendia persicum



Eryngium caeruleum



Eryngium macrocalyx



Falcaria vulgaris

Рис. 2. Геоинформационные карты распространения лекарственных растений семейства Apiaceae

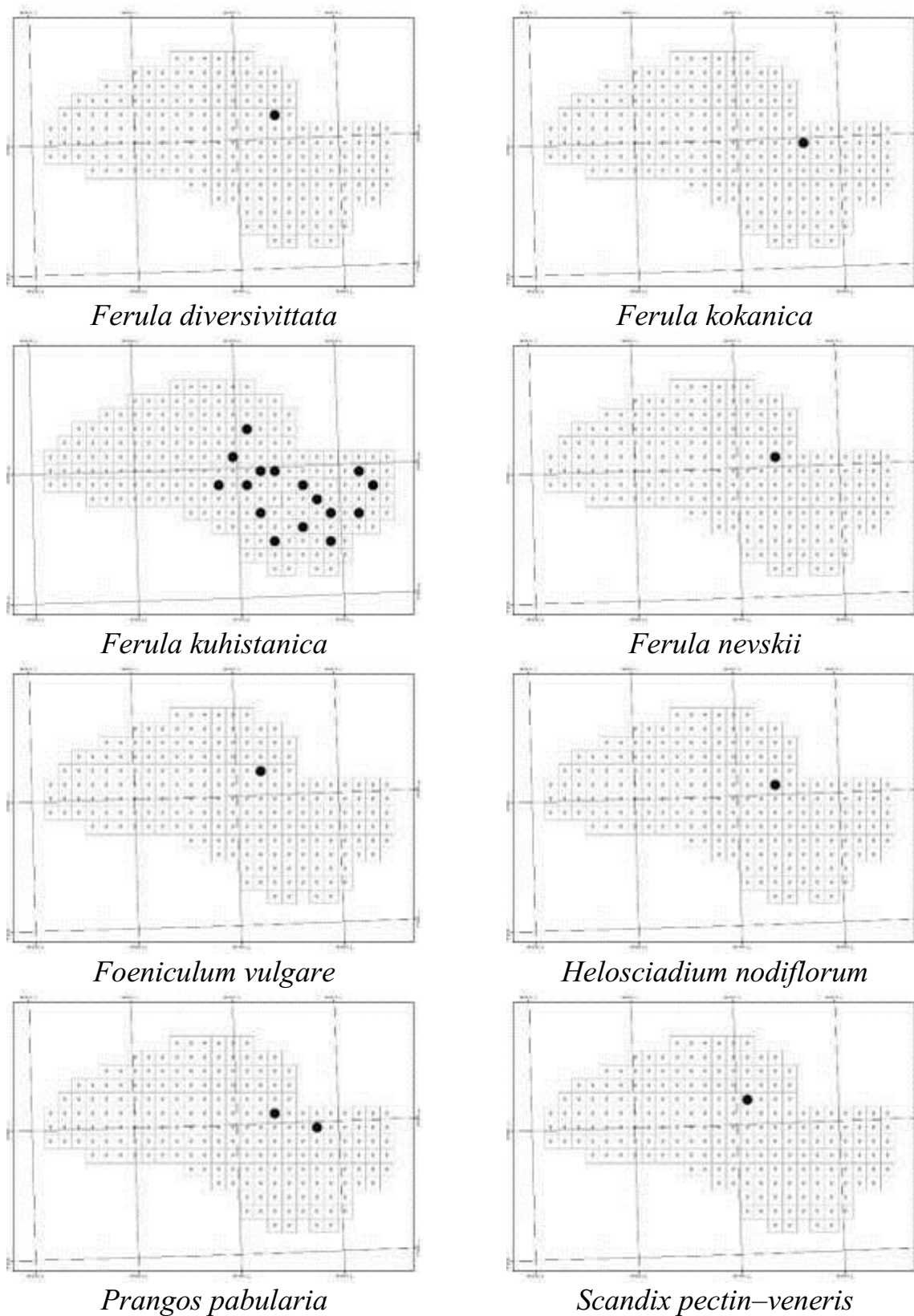


Рис. 2. (окончание). Геоинформационные карты распространения лекарственных растений семейства Апиáceе

Основные места нахождения выявленных видов отмечены в окрестностях Кизилча, перевала Толли, Элликбаш, Окрабад и Таркапчигай. На равнинной части районов Гузар и Нишан природные ресурсы

хозяйственно-ценных растений относительно малы, так как в данных районах круглый год наблюдается регулярный выпас скота.

В ходе исследований в Таркапчигайском ботанико-географическом районе выявлено 50 видов семейства *Ariaceae*, относящихся к 25 родам. По географическим координатам зарегистрированных видов составлены геоинформационные (ГИС) карты. Результаты исследований показывают, что в настоящее время спрос на лекарственные растения день за днем увеличивается. Это, в свою очередь, предполагает необходимость изучения природных ресурсов и фиксации точек произрастания лекарственных видов растений. Выявление хозяйственно-ценного значения растений локальных флор и формирование их списка являются одними из важных аспектов флористических работ.

Исследования по данному направлению способствуют выявлению точек распространения лекарственных видов, определению количества естественного и годового использования, заготовке из них качественных лекарственных препаратов. Полученные результаты способствуют организации долгосрочного мониторинга лекарственных растений и их использования на плановой основе. Подобные исследования послужат первичным источником сведений для разных отраслей производства и промышленности.

Библиографический список

1. Кузьменко И. Н., Колясникова Н. Л. Лекарственные и ядовитые растения : учебное пособие. Пермь : ИПЦ «ПрокростЪ». 104 с.
2. Абдураимов А. С. Флора Таркапчигайского ботанико-географического района : автореф. дис. ... д-ра философии (PhD) по биол. наукам: 03.00.05. Ташкент, 2021. 44 с.
3. Хожиматов О. К. Лекарственные растения Западного Тянь-Шаня (в пределах республики Узбекистан) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05. Ташкент, 2008. 40 с.
4. International Union for Conservation Nature and Natural Resources [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iucn.org> (дата обращения: 10.03.2021).
5. Пименов М. Г., Остроумова Т. А. Зонтичные (*Umbelliferae*) России. М. : Тов-во научных изданий КМК, 2012. 477 с.
6. Наумов С. Ю. Лекарственные растения семейства Сельдереиные в Донбассе. Луганск : ФЛП Пальчак А. В., 2017. 122 с.
7. Пименов М. Г., Ключиков Е. В. Зонтичные (*Umbelliferae*) Киргизии. М. : Тов-во научных изданий КМК, 2002. 288 с.
8. Хожиматов О. К. Лекарственные растения Узбекистана (свойства, применение и рациональное использование). Т. : «Маънавият», 2021. 328 с.
9. Тожибаев К. Ш., Бешко Н. Ю., Попов В. А. Ботанико-географическое районирование Узбекистана // Ботан. журнал. 2016. № 10 (101). С. 1105–1130.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ НЕКОТОРЫХ УЧАСТКОВ ЮЖНО-КАМЫШОВОГО ХРЕБТА НА ТЕРРИТОРИИ НЕВЕЛЬСКОГО РАЙОНА о. САХАЛИН

Э. В. Кузина, Е. В. Рябова

Вятский государственный университет, stud114838@vyatsu.ru

Изучен видовой состав сосудистых растений некоторых участков Южно-Камышового хребта на территории Невельского района о. Сахалин. На исследуемой территории выявлено 108 видов сосудистых растений, относящихся к 77 родам и 39 семействам.

Ключевые слова: растительность, видовой состав, сосудистые растения, Невельский район, о. Сахалин.

Южно-Камышовый хребет, имеющий эрозионный рельеф с остроко-нечными вершинами, является южной частью Западно-Сахалинских гор о. Сахалин. На склонах горно-таежные ландшафты представлены елово-пихтовыми лесами с густыми зарослями бамбучника (*Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino & Shibata). На приморских склонах Южно-Камышового хребта местами сохранились массивы хвойно-широколиственных лесов с участием видов маньчжурской флоры: дуб зубчатый (*Quercus dentata* Thunb.), актинидия Коломикта (*Actinidia kolomikta* (Maxim.) Maxim.) [1]. Крупнотравные луга характерны не только для речных долин, но встречаются также и на приморских склонах [2].

На территории некоторых участков Южно-Камышового хребта в летний период 2021 г. было проведено исследование биоразнообразия сосудистых растений. Изучение проводили маршрутным методом и закладкой пробных площадей с целью получения характеристики местообитаний. Геоботанические описания фитоценозов проводили по общепринятым методикам [3] с оценкой относительного обилия вида по Друде [4]. При определении видо-вого состава растений использовали конспект флоры Дальнего Востока [5] с учетом списка выявленных видов сосудистых растений о. Сахалин [6].

Согласно геоботаническому районированию данный регион относится к Сахалино-Хоккайдской провинции Южно-Сахалинского округа Крильонско-го района подзоны северной тайги [7]. В результате исследований нами было выявлено 108 видов сосудистых растений, относящихся к 77 родам и 39 семействам. В процентном соотношении доминируют покрытосеменные (89,8% – 97 видов); споровые (5,6% – 6 видов) и голосеменные (4,6% – 5 видов) примерно в равном соотношении.

Споровые растения представлены папоротниками и хвощами. Четыре вида принадлежат к папоротниковидным – букovníк обыкновенный (*Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt), страусник обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod), орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn),

щитовник мужской (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott). Многочисленные заросли *P. connectilis* и *P. aquilinum* обнаружены на облесенном склоне западной экспозиции на высоте 115 метров над уровнем моря. Единичными экземплярами на этой территории представлены *M. struthiopteris* и *D. filix-mas*. Хвоцевидных два вида (1,85%) – хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.) и хвощ луговой (*Equisetum pratense* Ehrh.), которые встречаются под пологом леса и на травянистых лугах рядом с водоемами.

Голосеменные растения представлены хвойными: пихта сахалинская (*Abies sachalinensis* (F. Schmidt) Mast.), лиственница курильская (*Larix kamtschatica* (Rupr.) Carrière.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель аянская (*Picea ajanensis* Fisch. ex Carrière.). Образуют древостой, встречаются в подросте сосняка бамбучника и елово-пихтовом лесу. Образуют облесенные склоны Южно-Камышового хребта.

Среди покрытосеменных ведущими семействами являются: Роасеае (20), Asteraceae (15), Umbelliferae (10), Rosaceae (5), Polygonaceae (5), Fabaceae (4), Ranunculaceae (4), Campanulaceae (3), Salicaceae (3), Plantaginaceae (2). Доля видов в 10 ведущих семействах 74,8%.

Повсеместное распространение на территории Южно-Камышового хребта имеют виды семейства Роасеае. Курильский бамбук (*Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino & Shibata) входит в состав травяно-кустарничкового яруса хвойных и широколиственных лесов, также создает обильные заросли на лугах. Вейник лапландский (*Calamagrostis lapponica* (Wahlb.) Hartm.) встречается единично на приморских побережьях и обильно на лугах. Овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.) распространена почти повсеместно.

Семейство Asteraceae занимает вторую позицию по выявленным видам. Белокопытник широкий (*Petasites amplus* Kitam.) – один из основных элементов крупнотравья, встречающийся по морским побережьям, берегам рек и увлажненным местам. Горлюха японская (*Picris japonica* Thunb.) растет на лугах и поляна. Анафалис жемчужный (*Anaphalis margaritacea* (L.) Benth. & Hook. f.) встречается на облесенных участках и под пологом хвойных лесов (единично).

Семейство Umbelliferae по числу выявленных видов занимает третье место: медвежья дудка (*Angelica ursina* (Rupr.) Maxim.) растет под пологом леса, на лесных полянах и по обочинам дорог; борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) – по обочинам дорог и облесенным пространствам, центелла азиатская (*Centella asiatica* (L.) Urb.) – под пологом сосновых лесов на облесенных склонах Южно-Камышового хребта.

Из семейства Rosaceae рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) единично отмечена в подлеске широколиственных лесов. Шиповник морщинистый (*Rosa rugosa* Thunb.) крупными зарослями растет на морских террасах, единично отмечен на луговых участках.

Семейство Polygonaceae: гречиха сахалинская (*Reynoutria sachalinensis* (F. Schmidt) Nakai) произрастает на склонах Южно-Камышового хребта; щавель курчавый (*Rumex crispus* L.) – на лугах, около дорог; щавель конский

(*Rumex confertus* Willd.) отмечен по берегам, на обочинах дорог и лесных опушках.

Семейство Fabaceae представлено распространенными видами, такими как: клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), клевер полевой (*Trifolium campestre* Schreb), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.).

Повсеместно встречающимся на территории Южно-Камышового хребта видом семейства Ranunculaceae является лютик едкий (*Ranunculus acris* L.).

Семейство Campanulaceae: бубенчик трехлистный (*Adenophora triphylla* (Thunb.) A. DC.) единично отмечен на зарастающих лугах хребта; колокольчик точечный (*Campanula punctata* Lam.) и колокольчик персиколистный (*Campanula persicifolia* L.) обнаружены на освещенных лесных опушках.

Семейство Salicaceae представлено ивой удской (*Salix udensis* Trautv. & С.А. Меу.), тополем бальзамическим (*Populus balsamifera* L.) – произрастают по береговым склонам. Тополь черный (*Populus nigra* L.) обнаружен в составе древостоя смешанных лесов на облесенных участках Южно-Камышового хребта.

Распространенные виды семейства Plantaginaceae – подорожник средний (*Plantago media* L.) и подорожник большой (*Plantago major* L.) произрастают около дорог, встречаются и под пологом леса.

Видовое разнообразие Южно-Камышового хребта велико, представлено травами, деревьями, кустарниками, древовидными лианами. Отмечены растения, произрастающие не только на о. Сахалин, но и на островах Японии, территории Дальнего Востока Евразии и Северной Америки.

Библиографический список

1. Словарь современных географических названий / под общ. ред. акад. В. М. Котлякова. Екатеринбург : У-Фактория, 2006.
2. Романенко Я. А. Ботанико географическое районирование Сахалина: Исторический обзор // Научное обозрение. Биологические науки. 2015. Кн. 1. С. 134–135.
3. Кудашкина Н. В. Полевая практика по ботанике : учебное пособие. Уфа : ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет», 2016. 47 с.
4. Рябова Е. В. Растительный мир – изучение и охрана : учебно-методическое пособие. Киров : ООО «Типография «Старая Вятка», 2012. 96 с.
5. Флора российского Дальнего Востока: дополнения и изменения к изданию «Сосудистые растения советского Дальнего Востока» / под ред. А. Е. Кожевников и Н. С. Пробатова. Владивосток : Дальнаука, 2006. 456 с.
6. Баркалов В. Ю., Таран А. А. Список видов сосудистых растений острова Сахалин // Растительный и животный мир острова Сахалин : материалы междунар. сахалинского проекта: Владивосток : Дальнаука, 2004. Кн. 1. С. 39–66.
7. Крестов П. В., Баркалов В. Ю., Таран А. А. Ботанико-географическое районирование острова Сахалин. Владивосток : Дальнаука, 2004. 26 с.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕДКИХ И ОХРАНЯЕМЫХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «СОЛНЕЧНАЯ ПОЛЯНА» (САРАТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Ю. Г. Матвеева

ФГАОУ ВО «НИУ ИТМО», matveevajg@mail.ru

В данной статье представлены результаты исследований распространности редких и охраняемых видов растений Национального парка «Хвалынский». Несмотря на заповедный статус, данная особо охраняемая природная территория испытывают серьезную рекреационную нагрузку. Однако даже на территории туристических комплексов, лагерей отдыха и в окрестностях, часто посещаемых отдыхающими экологических троп, сохраняются небольшие ценопопуляции редких и охраняемых видов растений.

Ключевые слова: редкий вид, охраняемый вид, обилие видов, картография, геоботанический мониторинг, особо охраняемая природная территория.

Хвалынский национальный парк (НП) образован в 1994 г. для сохранения уникальных природных комплексов Хвалынских меловых гор Приволжской возвышенности и памятников историко-культурного наследия края. На его территории подтверждено произрастание 973 видов растений. Среди них выявлено более 40 кормовых видов, более 50 видов лекарственных растений, дикорастущих пищевых растений – 26 видов, эфемеров и эфемероидов – 40 видов; растительность искусственных насаждений НП представлена 157 видами. Около 90 видов занесены в Красную книгу Саратовской области и 20 видов растений – в Красную книгу РФ, что делает это место еще более уникальным и значимым [1].

Целью нашей работы было изучение редких и охраняемых видов растений на территории туристического комплекса «Солнечная поляна». Для ее достижения поставлено несколько задач: 1) на основе данных литературы составить список редких и охраняемых видов растений, встречающихся на территории туристического комплекса «Солнечная поляна»; 2) изучить современное состояние флоры редких видов туристического комплекса маршрутным методом. Обилие редких видов растений сравнивали для изученного участка и его окрестности. Все собранные данные картографировали.

Для исследования выделены два района:

- 1) территория туристического комплекса «Солнечная поляна»;
- 2) окрестности туристического комплекса «Солнечная поляна»: полоса шириной около 100 м, граничащая с территорией рекреационного объекта (рис.).

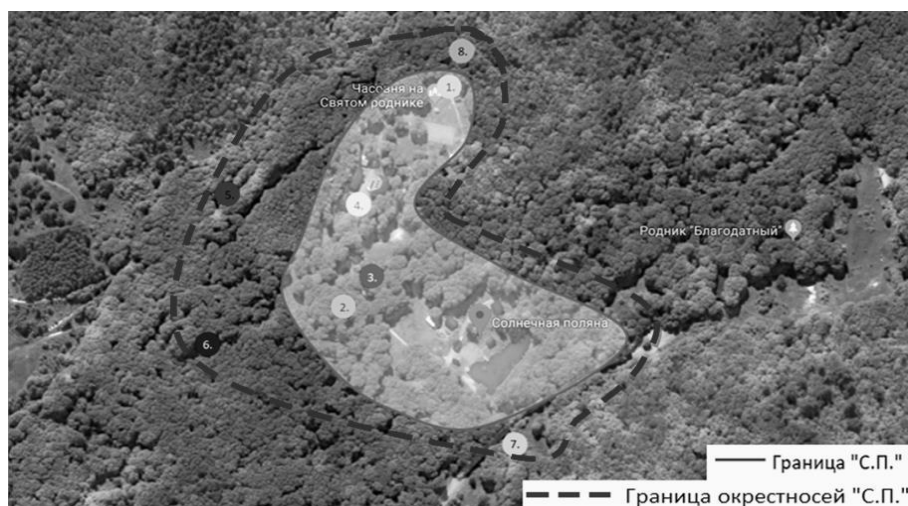


Рис. Схема туристического комплекса «Солнечная поляна» и его окрестностей

Исследования на указанной территории проводили в июле 2018 г. Для этого применяли маршрутный метод изучения флоры. Суммарная обследованная площадь составила 20 га. Редкие и охраняемые виды растений идентифицировали при помощи определителей и сопоставляли с конспектом флоры НП [2]. Места обнаружения ценопопуляций растений фиксировали при помощи GPS навигатора. Обилие растений оценено по методике Хансона [3]. При проведении картографических работ в качестве карты-основы использованы растровые графические материалы, полученные при помощи программы GoogleEarth 6.0.1 [4].

В ходе работы установлено, что на территории туристического комплекса «Солнечная поляна» в разные годы отмечались 11 охраняемых видов растений с различными категориями редкости (табл. 1.)

Таблица 1

Редкие и охраняемые виды растений Саратовской области на территории туристического комплекса «Солнечная поляна»

№	Вид растения	Категория и статус охраны
1	Щитовник картузианский (<i>Dryopteris carthusiana</i>)	2(V) – уязвимый вид
2	Колокольчик персиколистный (<i>Campanula persicifolia</i>)	2(V) – уязвимый вид
3	Ветреница лесная (<i>Anemone sylvestris</i>)	2(V) – уязвимый вид
4	Вороний глаз четырехлистный (<i>Paris quadrifolia</i>)	Искл. из Красной книги Саратовской обл. в 2006 г.
5	Майник двулистный (<i>Maianthemum bifolium</i>)	2(V) – уязвимый вид
6	Дремлик темно-красный (<i>Epipactis atrorubens</i>)	3(R) – редкий вид
7	Дремлик зимовниковый (<i>Epipactis helleborine</i>)	3(R) – редкий вид
8	Колокольчик широколистный (<i>Campanula latifolia</i>)	2(V) – уязвимый вид
9	Шалфей клейкий (<i>Salvia glutinosa</i>)	1(E) – находится под угрозой исчезновения
10	Первоцвет крупночашечный (<i>Primula macrocalyx</i>)	2(V) – уязвимый вид
11	Нивяник обыкновенный (<i>Leucanthemum vulgare</i>)	Искл. из Красной книги Саратовской обл. в 2006 г.

Из составленного списка видов, числившихся на территории «Солнечной поляны», нами обнаружено шесть представителей редких и охраняемых растений: *Paris quadrifolia*, *Epipactis atrorubens*, *Campanula latifolia*, *Campanula persicifolia*, *Salvia glutinosa* и *Leucanthemum vulgare* (табл. 2).

Таблица 2

Встреченные виды растений на территории «Солнечной поляны» и ее окрестностей

№	Вид растения	Наличие на территории «Солнечной поляны»	Наличие в окрестностях «Солнечной поляны»
1	Щитовник картузианский	–	–
2	Ветреница лесная	–	–
3	Колокольчик персиколистный	+	+
4	Вороний глаз четырехлистный	+	–
5	Майник двулистный	–	–
6	Дремлик темно-красный	+	+
7	Дремлик зимовниковый	–	–
8	Колокольчик широколистный	+	+
9	Шалфей клейкий	+	+
10	Первоцвет крупночашечный	–	–
11	Нивяник обыкновенный	+	–

На территории «Солнечной поляны» выделено четыре зоны произрастания редких растений: участок лесного массива за каптажом родника «Святой», липокленовник снытево-ландышевый на склоне северо-восточной экспозиции, липокленовник на берегу небольшого водоема в восточной части, искусственный газон у построек на территории туристического комплекса. В первой зоне – за каптажом родника «Святой» – обнаружены вороний глаз четырехлистный, колокольчик персиколистный, шалфей клейкий, обилие которых оценено как нечасто встречающиеся; обилие один вид – колокольчик широколистный. Во второй зоне – липо-кленовник снытево-ландышевый на склоне северо-восточной экспозиции – найдены дремлик темно-красный, который встречался редко; вороний глаз четырехлистный, колокольчик персиколистный – в обильном количестве; колокольчик широколистный – часто. В третьей зоне – липо-кленовник на берегу небольшого водоема в восточной части обнаружены колокольчик персиколистный и колокольчик широколистный в единичных экземплярах. В последней зоне данного района – искусственный газон у построек на территории туристического комплекса – часто встречался нивяник обыкновенный.

Для сравнения с флорой редких видов территории туристического комплекса «Солнечная поляна» выбран второй район – окрестности туристического комплекса – полоса шириной около 100 м, граничащая с рекреационным объектом. В данном районе обнаружено четыре вида редких и охраняемых растений: дремлик темно-красный, колокольчик широколистный, колокольчик персиколистный и шалфей клейкий.

Особи данных видов произрастают в четырех зонах: лес при въезде на территорию «Солнечной поляны», лес на повороте вдоль трассы, у въезда с северных ворот, за каптажем родника «Святой» (25 м). В первой зоне – лес при въезде на территорию «Солнечной поляны» – обнаружены колокольчик персиколистный, степень обилия которого оценена как очень редкая, в отличие от колокольчика широколистного, встречавшегося часто. Во второй зоне – лес на повороте вдоль трассы – в обильном количестве отмечен колокольчик широколистный. В третьей зоне – въезд с северных ворот – найдены дремлик темнокрасный, обилие которого определено как часто встречающегося вида, и колокольчик широколистный в нечастой степени обилия. В четвертой зоне нашего исследования – за каптажем родника «Святой» (25 м) – зафиксированы шалфей клейкий, представленный единичным образцом, и обильно произрастающий колокольчик персиколистный.

Таким образом, на территории туристического комплекса «Солнечная поляна» обнаружены шесть редких и охраняемых видов растений из 11, представленных в списке. Наибольшее обилие в двух изученных районах исследования характерно для колокольчика персиколистного и колокольчика широколистного, наименьшее – для шалфея клейкого. Данные факты позволяют сделать заключение о том, что, несмотря на большую подверженность антропогенной нагрузке территории туристического комплекса «Солнечная поляна» по сравнению с другими участками НП «Хвалынский», по-прежнему сохраняется устойчивость экосистем.

Библиографический список

1. Википедия. Красная книга Саратовской области. [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Красная_книга_Саратовской_области (дата обращения: 15.03.2022).
2. Серова Л. А., Березуцкий М. А. Растения национального парка «Хвалынский»: конспект флоры. Саратов : Науч. кн., 2008. 193 с.
3. Беляченко А. А., Серова Л. А. Полевые экологические исследования : учебное пособие. Саратов : ООО Изд. центр «Наука», 2013. 228 с.
4. Карты от Google [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.google.ru/maps> (дата обращения: 07.03.2022).

БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ АДВЕНТИВНЫХ РАСТЕНИЙ ВОДОЕМОВ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

В. В. Соловьева

*Самарский государственный социально-педагогический университет,
solversam@mail.ru*

В статье представлен обзор особенностей биологии и экологии адвентивных растений водоемов Самарской области. Собраны данные о 25 адвентивных видах растений со следующей информацией о каждом из них: жизненная форма и морфологическая группа, климатоморфа; способы опыления и

распространения семян и плодов; экоморфы по отношению к режиму почвенного увлажнения; трофоморфы; тип ареала; встречаемость в пределах Самарской области; ресурсная значимость; адвентивная группа.

Ключевые слова: адвентивные растения, гигроморфа, экоморфа, ареал, экологическая группа, адвентивная группа.

Адвентивные растения – группа заносных растений, включающая адвентиков с других континентов, аборигенных мигрантов и интродуцентов. Основной поток заносных неофитов на территорию Самарской области идет из Северной Америки (9 видов) и Средней Азии (7 видов), Древнего Средиземноморья (1). Аборигенные водные и околородные растения (8 видов) имеют активность внедрения с юга на север.

Ниже приведем описание биологических и экологических особенностей адвентивных растений водоемов Самарской области. Названия таксонов растений ориентированы на работу С. К. Черепанова [1]. Для каждого вида (гибридов) в алфавитном порядке приводится: латинское и русское название с синонимами. В соответствии с рекомендациями к анализу флоры Н. М. Матвеева [2] дается характеристика растений в следующем порядке: 1) биоморфологические особенности; 2) экоморфы; 3) тип ареала; 4) встречаемость в пределах Самарской области; 5) ресурсная значимость растений указана в соответствии с «Определителем растений Среднего Поволжья» [3]; 6) особенности экологии; 7) группа по классификации адвентивных растений [4].

Ambrosia trifida L. – Амброзия трехраздельная. 1) однолетник, терофит, анемофил, антропохор; 2) мезофит, мегатроф, гелиофит, мезотерм; 3) плюрирегиональный, плюризональный; 4) часто, по всей территории области; 5) сильный аллерген; 6) по влажным грунтам, богатым органикой; 7) кенофит – ксенофит – эпекофит, Северная Америка.

Bidens frondosa L. – Черда многолистная. 1) однолетник, терофит, энтомофил, зоохор, антропохор; 2) гигрофит, мегатроф, гелиофит, олиготерм; 3) голарктический, бореально-меридиональный, адвентивный (Северная Америка); 4) обычный; 5) декоративное; 6) увлажняемый берег; 7) кенофит – ксенофит – агрофит, Северная Америка.

Budens x garumnae Jeanjean et Debray (*B. frondosa* L. x *B. tripartita* L.). 1) однолетник, терофит, энтомофил, зоохор, антропохор; 2) гигрофит, мегатроф, гелиофит, олиготерм; 3) адвентивный, голарктический, бореально-меридиональный; 4) изредка, пруды Поволжского свиного комплекса, Ветлянского водохранилище; 5) –; 6) обсохшие мелководья; 7) адвент гибридного происхождения, аборигенный мигрант.

Bolboschoenus latycarpus Marhold et al. (*Bolboschoenus yagara* (Ohwi) Y.C. Yang et M. Zhan x *B. planiculmis* (Fr. Schmidt) Egor) – Клубнекамыш широкоплодный. 1) травянистый клубнекорневищный многолетник, криптофит, анемофил, гидрохор, анемохор; 2) гигрогелофит, мезотроф, гелиофит, олиготерм; 3) евразийский, температурно-меридиональный; 4) очень редко, впервые

отмечен в 2006 г. на прудах Безымянской ТЭЦ; 5) –; 6) мелководья; 7) аборигенный мигрант.

Bryonia alba L. – Переступень белый. 1) травянистый длиннокорневищный многолетник, гемикриптофит, энтомофил, орнитохор, антропохор; 2) мезофит, мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) евразийский, бореально-температный; 4) изредка, в лесостепной части области; 5) ядовитое, лекарственное, медоносное, декоративное; 6) увлажненные берега под пологом кустарников; 7) кенофит – эргазиофит – эпекофит, Древнее Средиземноморье.

Conyza canadensis (L) Crong. (*Erigeron canadensis* L.) – Кониза канадская (Мелколепестник канадский). 1) однолетник, терофит, энтомофил, анемохор; 2) мезофит, мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) голарктический, плюризональный; 4) обычный, по всей территории области; 5) сорное, лекарственное; 6) увлажняемое побережье; 7) кенофит – ксенофит – эпекофит, Северная Америка.

Echinocystis lobata (Michx.) Torr. et Gray – Эхиноцистис лопастный. 1) однолетник, терофит, анемофил, энтомофил, баллист; 2) гигромезофит, мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) голарктический, бореально-субмеридиональный; 4) часто, по всей территории области; 5) медоносное, декоративное; 6) увлажненные берега под пологом кустарников; 7) кенофит – эргазиофит/ксенофит – агриофит, Северная Америка.

Elodea canadensis Michx. – Элодея канадская. 1) травянистый погруженный в воду двудомный вегетативно подвижный турионообразующий однолетник со стеблеродными придаточными корнями, всплывающими удлиненными поликарпическими побегами и погруженными листьями, криптофит, энтомофил, гидрохор; 2) гидрофит, мезотроф, гелиофит, олиготерм; 3) плюрирегиональный, плюризональный; 4) обычный, по всей территории области; 5) кормовое, аквариумное; 6) пресноводные слабо проточные водоемы с нейтральной и слабо щелочной реакцией, с невысоким содержанием взвешенных частиц, богатых соединениями кальция, выдерживает антропогенное влияние; 7) кенофит – ксенофит – агриофит, Северная Америка.

Epilobium rubescens Rydb. – Кипрей краснеющий. 1) травянистый длиннокорневищный многолетник, гемикриптофит, энтомофил, анемохор, гидрохор; 2) гигрофит, мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) североевразийский, бореально-меридиональный; 4) изредка, по всей территории области; 5) –; 6) побережья мелких водоемов, особенно с жесткой водой; 7) кенофит – ксенофит – агриофит, Северная Америка.

Impatiens glandulifera Royle – Недотрога железконосная. 1) однолетник, терофит, энтомофил, автомеханохор; 2) гигрофит, мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) евразийский, бореальный; 4) очень редко, пруд г. Самары (Советский р-н, на ул. Мирной); 5) декоративное, медоносное; 6) увлажненные побережья; 7) кенофит – эргазиофит – эпеко-агриофит, Гималаи.

Impatiens parviflora DC. – Недотрога мелкоцветковая. 1) однолетник, терофит, энтомофил, автомеханохор; 2) мезофит, мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) евразийский, бореальный; 4) редко; 5) декоративное; 6) по увлаж-

ненным местам побережий; 7) кенофит – эргазиофит – эпоко-агриофит, Средняя Азия, интродуцент.

Lemna gibba L. – Ряска горбатая. 1) плавающий листецовый вегетативно подвижный однолетник, криптофит, гидрофит, гидрохор, орнитохор; 2) гидрофит, эвтроф, гелиофит, мезотерм; 3) голарктический, бореально-температный; 4) редко, по всей территории области; 5) лекарственное, кормовое; 6) водоемы, богатые азотистыми соединениями, мезосапробные загрязненные водоемы; 7) кенофит – ксенофит – эпокофит, аборигенный мигрант.

Matricaria perforata Merat (*M. inodora* L.; *Tripleurospermum inodorum* (L.) Scb. Bip.) – Ромашка непахучая (Трехреберник непахучий). 1) однолетник или двулетник, терофит, энтомофил, баллист, анемохор; 2) мезофит, мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) евразийский, плюризональный; 4) обычный, по всей территории области; 5) инсектицидное, декоративное, красильное; 6) по влажным обсохшим грунтам, богатым органикой; 7) кенофит – ксенофит – эпокофит, Северная Америка.

Melilotus dentatus (Waldst. et Kit.) Pers. – Донник зубчатый. 1) двулетник, терофит, энтомофил, барохор, анемохор, антропохор; 2) мезофит, гало-мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) евразийский, бореально-температный; 4) изредка, по всей территории области; 5) кормовое; 6) солонцеватые луга и мочажины в местах выхода засоленных грунтовых вод; 7) кенофит – эфемерофит – эпокофит, ирано-туранский вид.

Melilotus officinalis (L.) Lam. – Донник лекарственный. 1) двулетник, терофит, энтомофил, барохор, анемохор, антропохор; 2) мезофит, мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) евразийский, бореально-температный; 4) обычный, по всей территории области; 5) медоносное, кормовое, лекарственное; 6) по сорно-рудеральным местам; 7) кенофит – эфемерофит – эпокофит, ирано-туранский.

Phragmites altissimus (Benth.) Nabile – Тростник высочайший. 1) травянистый длиннокорневищный земноводный многолетник, криптофит, анемофил, анемохор, барохор; 2) гелофит, мегатроф, гелиофит, олиготерм; 3) евразийский, температурно-тропический; 4) редко, Черновское водохранилище, пруды Безымянской ТЭЦ; 5) пищевое, кормовое, техническое; 6) илистые затопляемые участки побережий водоемов; 7) кенофит – ксенофит – эпокофит, Казахстан.

Pistia stratiotes L. – Писция телорезовидная. 1) плавающий однолетник, терофит, зоохор, гидрохор; 2) гидрофит, мезоэвтроф, гелиофит, мегатерм; 3) бореально-тропический; 4) очень редко, пруд около школы № 154 г. Самара; 5) аквариумное; 6) стоячие водоемы и водотоки со слабым течением; 7) кенофит – ксенофит – эфемерофит – эпокофит, водоемы тропиков и субтропиков.

Potamogeton x biformoides Papch. (*Potamogeton biformis* Hagstr. x *P. garminifolius* (Fries) Frier.) – Рдест двуликовидный. 1) травянистый длиннокорневищный вегетативно подвижный малолетник с удлиненными побегами, плавающими и погруженными листьями, криптофит, гидрофит, анемофил, гид-

рохор, эпизоохор, эндозоохор; 2) гидрофит, мезотроф, гелиосциофит, олиготерм; 3) эндемичный; 4) очень редко, Кутулукское водохранилище; 5) кормовое; 6) мелководья до 2,5 м; 7) адвент гибридного происхождения, аборигенный мигрант.

Scirpus tabernaemontani C.G.Gmel. (*Scirpus lacustris* L. subsp. *tabernaemontani* (C.C. Gmel.) Syme) – Камыш Табернемонтана. 1) травянистый длиннокорневищный земноводный многолетник, криптофит, анемофил, анемохор, гидрохор; 2) гелофит, мезоэвтроф, гелиофит, мезотерм; 3) голарктический, бореально-меридиональный; 4) часто, по всей территории области; 5) техническое; 6) мезоэвтрофные водоемы с колеблющимся уровнем воды, слабым течением и илистыми донными отложениями, способствует очищению воды; 7) аборигенный мигрант.

Trapa natans L.s.str. – Рогольник плавающий или водяной орех. 1) травянистый плавающий однолетник с верхнерозеточными побегами, криптофит, автогам, орнитохор, зоохор, гидрохор, антропохор; 2) гидрофит, мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) евросибирский, бореально-субмеридиональный; 4) очень редкий, занесен из волжских проток в 1990-е гг. в пруд на ул. Бронной г. Самары; 5) пищевое; 6) стоячие водоемы, тихие заводи, не выдерживает волнения; 7) интродуцент, аборигенный мигрант.

Typha laxmanii Leresch. – Рогоз Лаксмана. 1) травянистый длиннокорневищный многолетник со среднерозеточными побегами и частично погруженными листьями, криптофит, анемофил, анемохор, гидрохор, орнитохор; 2) гелофит, мегатроф, гелиофит, олиготерм; 3) евразийский, температурно-меридиональный; 4) часто, по всей территории области, чаще в Сыртовом Заволжье; 5) кормовое, пищевое, техническое; 6) слабо солоноватые водоемы с илисто-песчаными донными отложениями; 7) кенофит – ксенофит – агрофит, Южная Азия.

Vallisneria spiralis L. – Валлиснерия спиральная. 1) полностью погруженный в воду гидрофит; 2) мезотроф, гелиофит, гидрофил, гидрохор; 3) евразийский; 4) редко, впервые для флоры Самарской области вид зарегистрирован в пойме р. Сок 28 сентября 2020 г.; 5) аквариумное; 6) предпочитает неглубокие водоемы со стоячей или проточной водой, водоемы с песчаным грунтом; 7) кенофит – эргазиофитофит – эпекофит, аборигенный мигрант.

Xanthium strumarium L. – Дурнишник обыкновенный. 1) однолетник, терофит, анемофил, зоохор; 2) мезофит, мезотроф, гелиофит, мезотерм; 3) плюрирегиональный, плюризональный; 4) часто, по всей территории области; 5) лекарственное, жиромасличное, красильное; 6) песчаные наносы, галечник; 7) кенофит – ксенофит – эпекофит, Северная Америка.

Zannicellia palustris L. – Цанникеллия болотная. 1) травянистый длиннокорневищный многолетник, терофит, гидрофит, зоохор; 2) гидрофит, мезотроф, гелиосциофит, олиготерм; 3) голарктический, бореально-субмеридиональный; 4) изредка, Высокое и Сыртовое Заволжье; 5) кормовое для водоплавающей птицы; 6) слабо солоноватые непроточные водоемы с по-

стоянным уровнем воды, слабо гумусными отложениями; 7) аборигенный мигрант.

Zizania latifolia (Griseb.) Stapf – Цицания широколистная, дикий рис. 1) травянистый длиннокорневищный многолетник, криптофит, анемофил, анемохор, барохор; 2) гелофит, мезотроф, гелиофит, олиготерм; 3) Евросеверо-Американский температурно-меридиональный; 4) редко, интродуцирован (с. Черноречье Самарской области, пруды Ботанического сада); 5) кормовое, рекомендуется культивировать на мелководьях; 6) заиленные участки; 7) кенофит – эргазиофит – эпекофит, Северная Америка.

Темпы расселения мигрантов и их активность различны: одни из мест случайного заноса или преднамеренной интродукции расселяются в большей мере благодаря антропогенному фактору (*Phragmites altissimus*, *Typha laxmannii*, *Vallisneria spiralis*, *Zizania palustris*), другие начинают проявлять активность лишь после продолжительного периода адаптации (*Zizania latifolia*), третьи – мало активны и их расселение идет относительно медленными темпами (*Bolboschoenus koshewnikowii*, *Potamogeton biformoides*, *Scirpus tabernaemontanii*), четвертые расселяются достаточно быстро и на новых местах постепенно становятся нередкими видами (*Lemna gibba*, *Zannichellia palustris*), пятые – очень активны, быстро расселяются и быстро достигают высокого обилия (*Bidens frondosa*, *Elodea canadensis*). Вселенцы, особенно наиболее активные из них, нередко вытесняют близкие по экологии аборигенные виды и провоцируют вспышки гибридизационных процессов. Некоторые возникшие при этом гибриды очень устойчивы и не менее активны, чем их родительские виды. В сложных для вида-вселенца климатических условиях дальше могут распространяться его гибриды с местными видами [5].

Библиографический список

1. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.
2. Матвеев Н. М. Биоэкологический анализ флоры и растительности (на примере лесостепной и степной полосы) : учебное пособие. Самара : Изд-во «Самарский университет», 2006. 311 с.
3. Определитель растений Среднего Поволжья / под ред. В. В. Благовещенского. Л. : Наука, 1984. 392 с.
4. Адвентивная флора Воронежской области: исторический, биогеографический, экологический аспекты : монография / А. Я. Григорьевская, Е. А. Стародубцева, Н. Ю. Хлызова, В. А. Агафонов. Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. 320 с.
5. Папченков В. Г. Макрофиты-вселенцы в водоемах и водотоках бассейна Волги // Инвазии чужеродных видов в Голарктике : материалы Российско-американского симпозиума по инвазийным видам (Борок, Ярославская обл., Россия, 27–31 августа 2001 г.). Борок : Изд-во ИБВВ РАН, 2003. С. 99–104.

РАЗНООБРАЗИЕ ЛЕСОВ ОСОБО ЗАЩИТНЫХ УЧАСТКОВ ВОКРУГ НЕКОТОРЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ВЕРХОШИЖЕМСКОГО РАЙОНА

Е. Э. Попова, С. В. Шабалкина
Вятский государственный университет,
stud106896@vyatsu.ru, nasturtium2017@yandex.ru

В статье охарактеризовано разнообразие, состав, структура и состояние различных групп лесов особо защитных участков, расположенных в однокилометровой зоне вокруг сельских населенных пунктов на арендной территории ООО «Форест» в Мякишинском сельском участковом лесничестве Верхошижемского лесничества Кировской области. По результатам анализа таксационных описаний выявлено преобладание еловых (41,8%) и сосновых (36,2%) насаждений, редкость осиновых, сероольховых и ивовых сообществ.

Ключевые слова: древостой, захламленность, лесохозяйственные мероприятия, особо защитный участок леса, сообщество, тип лесорастительных условий.

Леса – уникальное природное богатство: являются важным источником древесины и других сырьевых ресурсов; имеют водоохранное, защитное, водорегулирующее, санитарно-гигиеническое, рекреационное и другое значение; оказывают влияние на все компоненты биосферы и выполняют огромную средообразующую роль. В настоящее время происходит обезлесение земель, как по естественным причинам, так и в результате деятельности человека. Поэтому необходима постоянная забота о сохранении лесных массивов и их рациональном использовании.

Одним из способов минимизации хищнического поведения в лесу стало выделение особо защитных участков (ОЗУ), которые проектируются для сохранения защитных и иных экологических функций лесов, в отношении которых устанавливаются соответствующие режим ведения лесного хозяйства и использования лесов. Они могут быть созданы в защитных, эксплуатационных и резервных лесах в отдельные лесные кварталы или лесотаксационные выделы [1, 2]. На территории Российской Федерации определено 31 наименование ОЗУ лесов, каждый из которых имеет свои нормативы и признаки выделения, защитную функцию [3]. Для сохранения возлагаемых на конкретное ОЗУ функций, необходимы регулярные обследования лесных сообществ и своевременное проведение разрешенных лесохозяйственных мероприятий.

Наше исследование посвящено анализу состава, структуры и состояния лесных фитоценозов ОЗУ, расположенных вокруг сельских населенных пунктов на арендном участке ООО «Форест» в Мякишинском сельском участковом лесничестве Верхошижемского лесничества Кировской области. Матери-

алом для изучения послужили таксационные описания, выполненные в 2015 году Вятским филиалом ФГБУ «Рослесинфорг» по II разряду лесоустройства.

Анализ таксационных описаний показал, что на арендном лесном участке находятся ОЗУ лесов двух категорий: 1) берегозащитные, почвозащитные участки лесов, расположенные вдоль водных объектов, склонов оврагов (общая площадь 535,3 га); 2) участки лесов вокруг сельских населенных пунктов и садовых товариществ (общая площадь 893,3 га).

Вокруг населенных пунктов и садовых товариществ выделяется особая однокилометровая зона, деятельность человека на которой частично ограничена. Основные функции данных участков лесов – рекреационная и ресурсная (поставка недревесных ресурсов жителям). На арендном участке ООО «Форест» леса таких ОЗУ отмечены в 21 квартале, 269 выделах, расположены вокруг населенных пунктов Бабищи, Казань, Логушины, Медяницы, Морозы и др.

В ходе анализа сообщества этих ОЗУ были объединены в шесть групп: еловые, сосновые, березовые, осиновые, сероольховые и ивовые, наибольшую долю среди которых составляют хвойные насаждения (рис.). Ниже кратко охарактеризованы особенности лесов каждой группы.

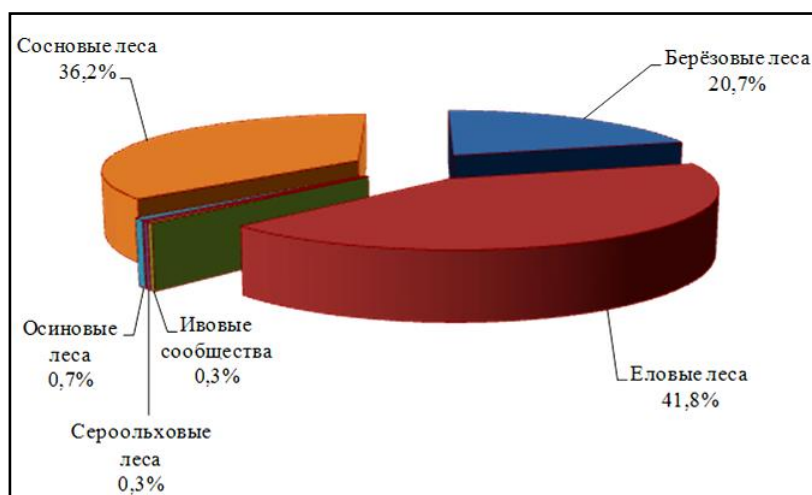


Рис. Соотношение площадей групп растительных сообществ

Группа *еловых лесов* представлена 32 разнообразными типами, среди которых чистые ельники, березово-еловые, сосново-еловые, более сложные – пихтово-березово-еловые, пихтово-осиново-березово-еловые и другие. Породы, образующие древостой: виды родов *Picea* A. Dietr., *Betula* L., древовидные *Salix* L., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* Ledeb., *Populus tremula* L., *Alnus incana* (L.) Moench. Состав древостоев: 6Е4Е+С+Б, 9Е1Б+ИВД, 5Е4С1Б+ОС, 6Е1СЗБ+ОС+П и другие. Значение ели в формуле составляет 3–10 единиц.

Общая площадь насаждений этой группы составляет 370,2 га, число сформированных выделов – 90. Сосново-пихтово-еловый лес занимает большую площадь – 31,6 га. Самые маленькие ивово-березово-еловый и пихтово-осиново-березово-еловый леса, каждый из которых имеет площадь по 0,1 га.

Наиболее распространенный тип леса – черничный (53 выдела из 90), реже встречаются кисличный (20 выделов) и травяно-болотный (17 выделов).

Основной класс бонитета II, он присущ сообществам 65 выделов; III класс отмечен у насаждений 22 выделов, IV – у трех (сосново-березово-еловый, ольхово-сосново-березово-еловый и осиново-сосново-березово-еловый сообщества).

Полнота варьирует от 0,3 до 0,7. Самая низкая полнота у ельников с примесью пихты и березы и ольхово-сосново-березово-елового леса с примесью ивы и осины. Полноту ниже средней (0,3–0,4) имеют сообщества 11 выделов, среднюю (0,5) – 44, выше средней (0,6–0,7) – 35.

В возобновлении сообществ преимущественно участвует ель, чаще с пихтой, редко подрост отсутствует. Еловый подрост встречается в лесах 38 выделов, пихтово-еловый – в сообществах 43 выделов, отсутствует – в 9. Значение ели в формуле от 6 до 10 единиц, пихты – 1–4. Возраст подроста 10–40 лет, высота 1–6 м, густота – 0,5–2,5 тыс. штук на га.

Еловые леса представлены 6 классами возраста: возраст ели от 20 до 120 лет. I класс возраста имеют сообщества одного выдела, II – 2, III – 16, IV – 47, V – 20, VI – 4, т. е. преобладают приспевающие насаждения.

Общий запас сыродревесины всех выделов составил 66 800 м³. Еловые леса характеризуются большей захламленностью, чем какие-либо другие. Это обусловлено тем, что ель – типичная ветровальная порода из-за того, что у нее обычно формируется поверхностная корневая система. Общая захламленность в этих лесах составляет 5 078 м³. Также отмечаются старые сухостойные деревья с общим запасом 3 932 м³. Относительный текущий отпад по запасу древесины – 12 % от общего запаса.

Сосновые леса – самая высокобонитетная группа, расположены в 101 выделе. Различается 15 типов данной группы: чистые сосняки, березово-сосновый, елово-сосновый, березово-осиново-сосновый и другие. Лесообразующими породами являются обычно *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, виды родов *Picea* и *Betula*, редко *Abies sibirica* и *Salix*. Состав древостоев различен: 10С, 10С+Е+Б, 5С3Е2Б+ОС+П, 5С4Б1ИВД и другие. Значение сосны в формуле от 3 до 10 единиц.

Общая площадь насаждений составляет 320,2 га. Большая часть этой группы представлена елово-березово-сосновыми лесами, площадь которых 91 га (28% от общей площади сосновых лесов). Меньшую долю занимает осиново-елово-березово-сосновый лес с площадью 1,3 га (0,4% от общей площади). Среди сосновых лесов преобладает майниково-черничный (61 выдел) тип, также встречаются майниково-брусничные (23 выдела), кисличные (16 выделов) и черничный (1 выдел) сообщества.

Для этой группы характерен I–II классы бонитета. I класс бонитета наблюдается у лесов 70 выделов, IA класс имеет елово-сосновый лес (39 выдел 25 квартала). Сообщества со II классом бонитета встречаются реже – на территории 28 выделов; единично отмечены леса с III (елово-березово-сосновый лес, 26 квартал 16 выдел) и IV (ивово-березово-сосновый лес, 26/31) классами.

Полнота насаждений варьирует от 0,4 до 0,9. Полноту ниже средней (0,4) имеют сообщества 5 выделов, среднюю (0,5) – 20 выделов, выше средней (0,6–0,9) – 75 выделов. Также в 63 выделе 15 квартала древостой представлен отдельно стоящими деревьями.

Подрост еловый (в 76 выделах), иногда с примесью пихты (в 10 выделах), в 63 выделе 15 квартала произрастает осиново-еловый подрост, в 14 выделах возобновление отсутствует. Значение ели в формуле 9–10, пихты – 1. Возраст подроста 5–30 лет, высота 0,5–5 м, количество – 0,5–3 тыс. штук на га.

Сосновые леса представлены 5 классами возраста: возраст сосны от 10 до 90 лет. I класс возраста имеют сообщества четырех выделов, II – 10, III – 34, IV – 40, V – 13, т. е. преобладают средневозрастные и приспевающие насаждения.

Общий запас сырораствительного леса всех выделов составил 62 118 м³. Захламленность в сосновых лесах преимущественно низкая, так как *Pinus sylvestris* на сухих и свежих почвах формирует глубокую корневую систему, что снижает вероятность ветровала; валежником в сосняках обычно является ель. Общая захламленность в сосновых лесах составляет 2 439 м³. Также отмечаются старые сухостойные деревья с общим запасом 929 м³. Относительный текущий отпад по запасу древесины – 5% от общего запаса.

Группа *березовых лесов* объединяет различные типы: встречаются как чистые березняки, так и многопородные насаждения. Породы, участвующие в формировании основного полога, идентичны еловым и сосновым лесам. Состав древостоев: 10Б, 8Б2Е+С, 6Б3ИВД1Е+С, 6Б2ОС2Е+С+ОЛС+ИВД, 4Б3ИВД1ОЛС2Е и другие. Значение березы в формуле от 3 до 10 единиц.

Общая площадь березовых насаждений 183,3 га, число сформированных выделов – 70. Большую часть занимает пихтово-елово-осиново-березовый лес (состав древостоя 5Б2ОС2Е1П+С), расположенный в одном выделе на площади 39,9 га. Менее распространен ольхово-елово-ивово-березовый лес (состав древостоя 4Б3ИВД1ОЛС2Е), площадь которого составляет 0,2 га.

Основной тип леса – черничный, также встречаются травяно-болотный, майниково-черничный и кисличный сообщества. Насаждения имеют преимущественно I–II классы бонитета: I класс характерен для лесов 32 выделов, II – лесов 33 выделов. III класс отмечен для сообществ пяти выделов: ивово-березовый (состав древостоя 6Б4ИВД+С), елово-ивово-березовый (6Б3ИВД1Е+С), ивово-ольхово-осиново-березовый (7Б1ОС1ИВД1ОЛС+Е), ольхово-елово-ивово-березовый (4Б3ИВД1ОЛС2Е) и елово-ольхово-сосново-ивово-березовый (5Б2ИВД1ОЛС1С1Е). Прослеживается тенденция того, что III класс бонитета наблюдается у травяно-болотных типов лесов.

Полнота варьирует от 0,3 до 0,9. Самый высокополнотный (0,9) однопородный березняк (состав древостоя 10Б), низкая полнота характерна древостоям III класса бонитета. Полноту ниже средней (0,3–0,4) имеют леса 13 выделов, среднюю (0,5) – 10, выше средней (0,6–0,9) – 47.

Подрост в основном представлен елью (43 выдела из 70), также встречается пихтово-еловый в 8 выделах, отсутствует в 19 выделах. Значение ели в формуле 6–10, пихты – 2–4. Возраст подроста 10–40 лет, высота 1–6 м, количество – 0,5–3 тыс. штук на га.

Березовые леса распределены по 9 классам возраста: возраст березы варьирует от 3 до 85 лет. I класс возраста имеют сообщества двух выделов, II – 4, III – 3, IV – 6, V – 20, VI – 22, VII – 11, VIII – 1, IX – 1, т. е. преобладают спелые насаждения.

Общий запас сырораствительного леса всех выделов составил 30 884 м³. Захламленность в березовых лесах преимущественно низкая, так как береза – ветроустойчивая порода, хотя и имеет поверхностную корневую систему. Общая захламленность – 1 661 м³, также отмечается наличие старых сухостойных деревьев с общим запасом 665 м³. Относительный текущий отпад по запасу древесины – 7 % от общего запаса.

Осиновые леса расположены в четырех выделах, представлены тремя типами: елово-березово-осиновый, елово-сосново-березово-осиновый и сосново-елово-березово-осиновый леса. Составы древостоев соответственно перечисленному: 6ОС1Б2ОС1Е, 5ОС3Б1С1Е и 4ОС3Б2Е1С.

Общая площадь насаждений 6,1 га, при этом каждый тип леса занимает одинаковую долю. Осиновые леса черничного типа, сообщества трех выделов имеют I класс бонитета, II класс – у елово-сосново-березово-осинового леса. Средняя полнота (0,5) характерна для сообществ двух выделов, выше средней (0,6) – также двух.

Подрост в основном еловый, отсутствует только в елово-сосново-березово-осиновом лесу. Возраст подроста 15–20 лет, высота 2–3 м, количество 1 тыс. штук на га.

Осиновые леса представлены 3 классами возраста: возраст осины от 3 до 65 лет. I класс возраста имеют сообщества одного выдела, IV – 1, VII – 2.

Общий запас сырораствительного леса всех выделов составил 786 м³. Захламленность в осиновых лесах низкая, отмечается в выделах, где в составе древостоя есть ель, и составляет 63 м³. Также встречаются старые сухостойные деревья с общим запасом 21 м³. Относительный текущий отпад по запасу древесины – 10 % от общего запаса.

Группа *сероольховых лесов* также немногочисленна, представлена в трех выделах 9 квартала двумя типами: березово-елово-ольховый с примесью сосны (на территории 37 и 48 выделов) и елово-березово-ольховый (выдел 50). Общая площадь насаждений 2,9 га. Значение *Alnus incana* в составе древостоя 4 и 6.

Сероольшаники являются травяно-болотными; имеют III класс бонитета, полноту ниже средней (0,4) – сообщества двух выделов – и среднюю (0,5) – насаждение одного выдела. Подрост еловый, встречается только в 37 выделе. Его возраст 15 лет, высота 2 м, редкий по численности (2 тыс. штук на га). Сероольшаники представлены одним классом возраста – III; возраст ольхи 30 лет.

Общий запас сырораствительного леса всех выделов составил 124 м³. Захламленности и старого сухостоя в сероольховых лесах не отмечено.

Группа *ивовых сообществ* представлена одним типом леса – елово-ольхово-березово-ивовый с формулой древостоя 5ИВД1ОЛСЗБ1Е, на площади 2,6 га. Тип леса – травяно-болотный, имеет IV класс бонитета, полноту 0,5, возраст ивы 20 лет (II класс возраста). Подрост отсутствует. Общий запас сырораствительного леса составил 52 м³. Захламленности и старого сухостоя не выявлено.

Таким образом, лесные сообщества ОЗУ вокруг сельских населенных пунктов разнообразны, среди которых преобладают еловые (занимают 370,2 га), и являются типичными для умеренной зоны. В них возобновляется преимущественно ель (189 выделов – 81,8%), значительно реже пихта, что свидетельствует о повсеместной трансформации насаждений в ельники. В лесах 137 выделов (59,3%) отмечено захламление, вызванное, прежде всего, наличием пораженных, больных и выпавших деревьев ели. Наблюдается уже потеря биологического ресурса и некоторых функций лесов ОЗУ – защитных, санитарно-гигиенических, оздоровительных и рекреационных.

Результаты анализа показывают необходимость своевременного проведения рубок слабой (15–20%) и умеренной (25–30%) интенсивности, прежде всего в высокополнотных сосновых и березовых лесах. Это будет способствовать: поддержанию и улучшению породного состава древостоя существующих сообществ; сохранению биоразнообразия лесов; лучшему развитию подроста; проходимости территорий и повышению их рекреационного потенциала благодаря сопутствующим уборке сухостойных и поваленных деревьев и осветлению; снижению пожароопасных ситуаций; лучшему возобновлению недревесных пищевых ресурсов и др. Только благодаря соответствующему режиму ведения лесного хозяйства и использованию лесов особо защитных участков насаждения будут выполнять свою главную функцию – «...сохранение защитных и иных экологических функций...».

Библиографический список

1. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 30.12.20218).
2. Лесостроительная инструкция. Утверждена приказом Рослесхоза от 12.12.2011 N 516. Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 6 марта 2012 года, регистрационный N 23413.
3. Лесостроительная инструкция. Утверждена приказом Минприроды России от 29.03.2018 г. N 122. Зарегистрировано в Минюсте России 20 апреля 2018 г. N 50859.

ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ГОРЕЧАВКИ ЖЕЛТОЙ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ СЫКТЫВКАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. ПИТИРИМА СОРОКИНА

Г. С. Шушпанникова, Я. А. Фомина

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина,
shushpannikova.galina@yandex.ru, yafo2602@mail.ru*

Проанализирована сезонная динамика горечавки желтой (*Gentiana lutea* L.) при интродукции в ботаническом саду Сыктывкарского государственного университета. Установлено, что высота растений ($127,6 \pm 3,9$ см) и размеры листьев (длина – $23,3 \pm 0,9$ см, ширина – $10,1 \pm 1,2$ см) превышают показатели особей из природных популяций. Данный вид успешно реализует свои адаптивные потенциалы в культуре ботанического сада в подзоне средней тайги, успешно проходя все стадии фенологического развития до созревания плодов и семян.

Ключевые слова: *Gentiana lutea* L., интродукция, подзона средней тайги, ботанический сад, фенология.

Ботанический сад Сыктывкарского университета имени Питирима Сорокина (БС СГУ) занимается интродукцией декоративных и лекарственных растений на северо-востоке европейской части России. В интродукционное исследование привлекаются растения со всего мира, полученные путем обмена семенами и другими зачатками из ботанических садов и опытных сортоиспытательных станций, а также из природных местообитаний разных регионов. В настоящее время коллекции живых растений ботанического сада насчитывают 508 таксонов декоративных растений открытого грунта, среди которых более 150 видов являются лекарственными растениями [1], среди них и горечавка желтая (*Gentiana lutea* L.). Ее применяют в народной медицине Индии, Китая при болезнях печени, желчного пузыря, как мочегонное средство. Она входит в государственные фармакопеи стран Европы и Америки. Установлено, что органы горечавки содержат гликозиды, алкалоиды, ксантоны, флавоноиды, тритерпеноиды (в том числе олеановую кислоту, оказывающую противораковое, гепатопротекторное и противовирусное действие), сахара, пектиновые вещества, белки, пигменты, жирные и эфирные масла. Наиболее богата алкалоидами подземная часть, флавоноидами – надземная [2]. Горечавка желтая используется и в качестве декоративного растения в групповых и партерных посадках.

Исследование проводили в ботаническом саду СГУ (61° с. ш., 50° в. д.), расположенном в окрестностях г. Сыктывкара (подзона средней тайги) в 2016–2021 гг. Для изучения биоморфологических особенностей данного вида применена малая выборка объемом 10 особей. Проводили изучение морфо-

метрических показателей (высота растения, длина и ширина листовой пластинки, длина соцветия). Экспериментальный материал, полученный в полевых опытах, обработан при помощи стандартных статистических методов с использованием стандартного пакета MS Excel 07. Изучение ритмов роста и развития проводили по методикам Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина [3]. Средние показатели температуры воздуха и осадков в вегетационные периоды 2016–2021 гг. представлены в таблице 1.

Горечавка желтая – стержнекорневой многолетник. Родина – высокогорная часть Карпат; растет в высокогорной части Западной и Средней Европы, на Балканах и в Малой Азии. В БС СГУ произрастает с 1982 г. в открытом грунте без использования укрывного материала на притененных от прямых солнечных лучей местах с хорошо удобренной и влажной почвой. В природных условиях горечавка желтая предпочитает солнечные места на известковых почвах [4]. Она произрастает компактным кустом с прямостоячими побегами высотой 60–90 см [5–7]. В условиях БС СГУ высота побегов варьирует от 123 до 148,5 см (табл. 2). Листья – удлинённо-ланцетные, сидячие, располагаются попарно по всему стеблю, а внизу образуют прикорневую розетку. Длина листовой пластинки варьирует от 19 до 27,7 см; ширина – 5,5–16,9 см, что не соответствует показателям особей из природных популяций, у которых длина листовой пластинки изменяется от 10 до 20 см, ширина – от 5 до 10 см. Цветки собраны в многоцветковые колосовидные соцветия длиной $28,8 \pm 0,7$ см с желтыми лепестками.

Рост побегов горечавки желтой можно описать при помощи логарифмической кривой (рис.). Первая лаг-фаза, или фаза медленного роста, начинается со схода снега. Данный процесс роста, который приходится на 17–24 мая, можно назвать подготовительным к следующей фазе. Затем следует логфаза, период ускоренного роста, начинается с 25 мая при достижении температуры 9–10°C и продолжается до 5 июля. Именно в это время побег горечавки желтой достигает своего максимума (137 см) и переходит в фазу замедленного (стационарного) роста, которая продолжается до конца вегетационного периода.

Таблица 1

**Показатели температуры воздуха и количества осадков, апрель – октябрь
(гидрометеостанция г. Сыктывкара, 2016–2021 гг.)**

Месяц	2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	T _{ср} , °C	Осадки, мм	T _{ср} , °C	Осадки, мм	T _{ср} , °C	Осадки, мм	T _{ср} , °C	Осадки, мм	T _{ср} , °C	Осадки, мм	T _{ср} , °C	Осадки, мм
Апрель	+5,22	56,4	+1,3	77,4	+7,2	31,3	+7,7	37	+1,1	32	+4,7	32
Май	+12,1	34,8	+5,2	54,2	+5,1	77,4	+11,3	84,3	+10,2	42	+12,3	44
Июнь	+14,6	50,6	+12,5	97,6	+13,5	75,9	+13,6	90,4	+14,0	63	+14,3	61
Июль	+19,9	70,4	+18,3	79	+19,4	86,7	+15,3	134,2	+20,1	73	+17,4	64
Август	+18,1	112	+16	83,2	+14,5	51,9	+11,3	111,1	+14,2	62	+20,7	78
Сентябрь	+9	93,4	+7,5	82,2	+9,6	59,5	+8,1	27,6	+9,7	57	+12,1	57
Октябрь	+1,8	24,2	+2,3	49,8	+2,8	78,6	+2	88,6	+2,9	59	+3,5	65
Сумма температур* – эффективных / активных	302/2727		398/2028		337/2354		328/2194		307/2391		481/2660	

Примечание: *эффективные – выше +5 °C; активные – выше +10 °C.

**Морфологические показатели *Gentiana lutea*
(ботанический сад СГУ им. Питирима Сорокина, 2021)**

Показатель	Высота растения, см	Листовая пластинка		Длина черешка, см	Длина соцветия, см	
		длина, см	ширина, см			
Средняя	128,7	23,7	11,4	7,3	45	
Ошибка средней	2,6	0,4	0,6	0,2	3,78	
Критерий достоверности средней арифметической	49,5	59,25	19	36,5	11,9	
Ошибка сигмы	3,6	0,3	0,6	0,1	2,4	
Коэффициент вариации	10	12,3	21	11	21,2	
Критерий достоверности	3,2	10,0	10,1	10,1	3,2	
Ошибка	3,0	0,1	2,1	0,1	3,0	
Показатель точности опыта	0,30	0,24	0,22	0,24	0,58	
Ошибка показателя точности	0,1	0,1	0,1	0,1	2,1	
Доверительные интервалы	Верхний	139,2	28,4	11,8	8,7	44,8
	Нижний	126,9	12,8	9,7	6,2	35,6

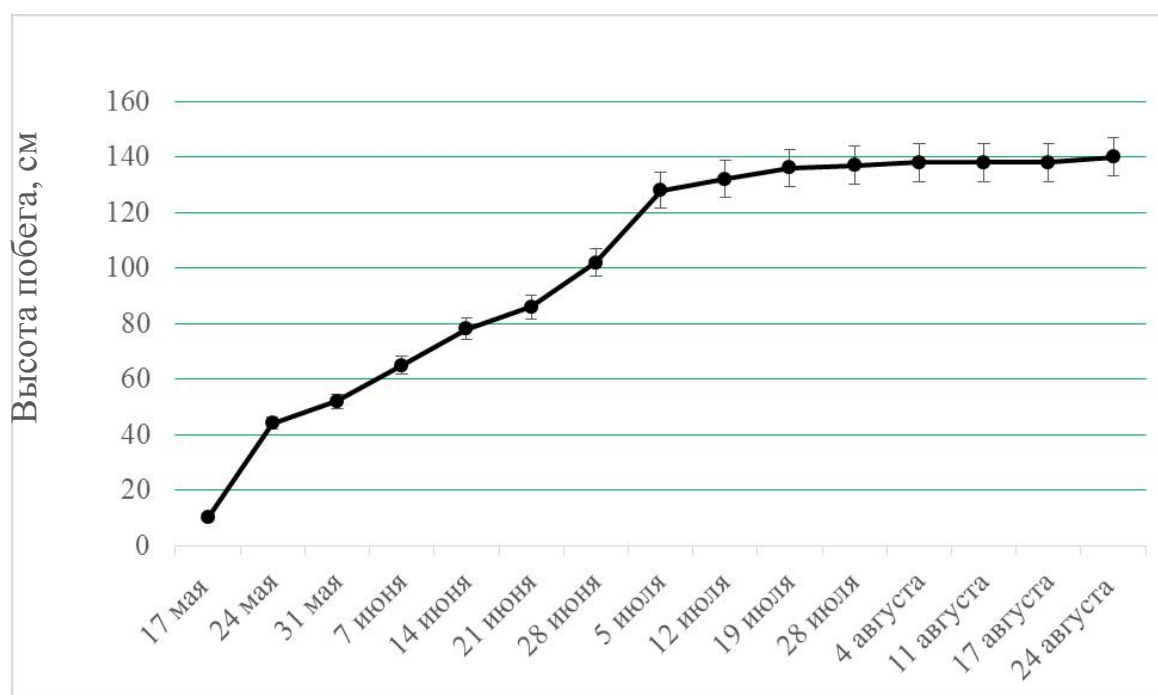


Рис. Кривая роста *Gentiana lutea* при интродукции в ботаническом саду СГУ им. Питирима Сорокина, 2021 г.

Вегетационный период горечавки желтой в ботаническом саду СГУ приходится на середину мая – начало июня (табл. 3), когда среднесуточная температура достигает 8–10 °С. Самая ранняя вегетация наблюдалась в 2021 г. (3.05.2021) благодаря ранней и теплой весне. В связи с холодной весной 2017 г. отрастание горечавки началось в начале июня (05.06.2017). В природных условиях на высокогорных участках Евразии этот период приходится на начало–середину мая [4]. Цветение начинается в начале июля при средне-

суточной температуре воздуха +20 °С; в 2017 г. – с опозданием на 10 дней; самое раннее цветение – в 2021 г. (23.06.2021). Согласно данным Т. А. Ильиной [8], цветение *Gentiana lutea* в горах Центральной Европы начинается в июле, как и при интродукции в БС СГУ. Г. А. Волкова с соавторами [9] отмечает, что наблюдались сдвиги в наступлении фазы цветения в 1991–1997 гг. от 20.06 до 12.07 (21 день). В период наших исследований этот сдвиг составил всего 10 дней (01.07–11.07).

Таблица 3

Фенологические данные *Gentiana lutea* при интродукции в ботаническом саду СГУ им. Питирима Сорокина, 2016–2021 гг.

Год исследования	Вегетация	Цветение	Плодоношение
2021	3.05	23.06	21.07
2020	17.05	03.07	07.08
2019	16.05	02.07	15.08
2018	17.05	04.07	13.08
2017	05.06	11.07	15.08
2016	16.05	01.07	09.08

В заключении отметим, *Gentiana lutea* успешно реализует свои адаптивные потенциалы в культуре ботанического сада среднетаежной зоны, успешно проходя все стадии фенологического развития – до созревания плодов и семян (82±8 дней).

Данный вид может быть рекомендован к посадкам в городах и поселках Республики Коми, так как он успешно произрастает в ботаническом саду с 1982 г., хорошо переносит зиму, неприхотлив в уходе, характеризуется продолжительным цветением (46±5 дней).

Библиографический список

1. Новаковская Т. В. Каталог растений Ботанического сада Сыктывкарского государственного университета имени Питирима Сорокина. Сыктывкар : Изд.-во СГУ им. Питирима Сорокина, 2019. 80 с.
2. Галинская В. Д. Содержание флавоноидов в некоторых сибирских видах горечавковых (род *Gentiana* L. и *Swertia obtusa* Ledeb.) // Растительные ресурсы Сибири и их использование. Новосибирск : Наука, 1978. С. 50–56.
3. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / М. С. Александрова, Н. Е. Булыгин, В. Н. Ворошилов, Р. А. Карпионова, Л. С. Плотникова. М. : ГБС АН СССР, 1975. 27 с.
4. Катаева Т. Н., Прокопьев А. С. Биологические особенности представителей рода *Gentiana* (Gentianaceae) в условиях интродукции на юге Томской области // Вестник Томского государственного университета. 2017. № 38. С. 45–67.
5. Сиротюк Э. А., Чич С. К. Географическая структура Gentianaceae Juss. Западного Кавказа // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2001. № 1. С. 69–71.
6. Сиротюк Э. А. Горечавковые Западного Кавказа (особенности биологии и охрана) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05. Майкоп, 2007. 353 с.
7. Сиротюк Э. А., Гергия И. Г., Айба Э. А. Распространение и эколого-ценотические особенности абхазских видов семейства Gentianaceae // Педагогическое образование в России. 2015. С. 153–161.

8. Ильина Т. А. Лекарственные растения. Большая иллюстрированная энциклопедия лекарственных растений. М. : Изд-во «Эксмо», 2008. 304 с.

9. Волкова Г. А., Мишуров В. П., Портнягина Н. В. Интродукция полезных растений в подзоне средней тайги Республики Коми. СПб. : Наука, 2002. 400 с.

МОРФОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ СОРТОВЫХ ТОПОЛЕЙ ДЕНДРАРИЯ СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

О. М. Ступакова

*Сибирский государственный университет им. М. Ф. Решетнева,
stupakovaom@sibsau.ru*

В статье рассмотрено значение сортовых тополей для озеленения городов. Приведены данные о морфологических характеристиках сортовых тополей Дендрария СибГУ им. М. Ф. Решетнева (г. Красноярск), а также их экологические предпочтения.

Ключевые слова: экология, озеленение, сорт, тополь, дендрарий.

Немногие регионы нашей страны могут оперировать понятием «благополучная экологическая обстановка». С возрастающими темпами урбанизации все актуальнее встает вопрос качественного озеленения. Большинство озеленительных посадок как селитебных, так и промышленных районов городов осуществлялось еще в советское время с помощью неприхотливых и быстрорастущих видов древесных растений, таких как тополь бальзамический, карагана древовидная, смородина золотистая. И если кустарниковые посадки в связи с возрастом практически выпали из зеленых каркасов городов, то искусственные насаждения тополя по сей день продолжают функционировать, хотя и исчезают с селитебных территорий. В некоторых регионах применялся, конечно, не только тополь бальзамический, но и другие представители семейства ивовых, в зависимости от климатических условий: тополь белый, тополь дрожащий, тополь черный, тополь советский пирамидальный, ива корзиночная, ива козья, ива Ледебура и др. Тополя являются быстрорастущими деревьями, неприхотливыми к условиям окружающей среды, со значительной фитомассой, обеспечивающей фильтрацию атмосферного воздуха. В целях «быстрого» озеленения они незаменимы. К сожалению, не во всех регионах есть сведения о сортах тополей, в том числе о мужских клонах, применение которых исключает явление «тополиного пуха».

На территории дендрария СибГУ им. М. Ф. Решетнева (г. Красноярск) имеется коллекция сортовых тополей, сформированная профессором И. Ю. Коропачинским черенками Центрального сибирского ботанического сада Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск). В данной коллекции представлено 77 растений сортов Мариландика (28 экз.), Регенерата (19 экз.), Робуста (5 экз.), Подмосковный (18 экз.), Серотина (6 экз.), Мо-

нилифера (1 экз.). Краткая характеристика данных сортов представлена в таблице 1. Подавляющее большинство является евроамериканскими гибридами.

Таблица 1

Краткая характеристика сортовых тополей коллекции Дендрария [1–4]

Наименование сорта	Пол	Краткая характеристика
Робуста, мощный (<i>Populus x euramericana</i> (Dode) Guinier cv. 'robusta' = <i>P. nigra</i> L. var. <i>plantierensis</i> x <i>P. deltoides</i> Marsch. ssp. <i>angulata</i> Henry)	м	Молодые побеги опушены. Листья темно-зеленые, крупные, блестящие, треугольные, кожистые. Крона довольно узкая.
Мариляндика, майский (<i>Populus x euramericana</i> (Dode) Guinier cv. 'marilandica' = <i>P. nigra</i> L. x <i>P. 'serotina'</i>)	ж	Листья крупные, светло- или желтовато-зеленые. Однолетние побеги серые и очень гибкие. Крона раскидистая или широкораскидистая. Искривленный, иногда разветвляющийся сбежистый ствол.
Серотина, поздний (<i>Populus x euramericana</i> (Dode) Guinier cv. 'serotina' = <i>P. nigra</i> L. x <i>P. deltoides</i> Marsch. ssp. <i>inonilifera</i> Henry)	м	Крона раскидистая. Облиствение происходит позднее, чем у всех других евроамериканских гибридов. Листья темно-зеленые. Черешки листьев красноватые. Одногодичные веточки коричневые до серо-коричневых. Высокая продуктивность древесины.
Регенерата, серый западный (<i>Populus x euramericana</i> (Dode) Guinier cv. 'regenerata' = <i>P. nigra</i> L. x <i>P. 'serotina'</i>)	ж	Крона раскидистая. Черешки листьев красноватые. Листья бледно-зеленые, облиствение густое. Плохо переносит засуху. Может наблюдаться саблевидный изгиб ствола.
Монилифера (<i>P. deltoides</i> Marsh, ssp. <i>monilifera</i> Henry)	ж	Листья узкие, обычно заостренные и мелкозубчатые, с отчетливым запахом при раздавливании, желтеют осенью. Кора серая или коричневая, ароматная.
Подмосковный (<i>P. suaveolens</i> Fisch. x <i>P. tremula</i> L.)	ж	Раскидистая крона, кора серо-зеленая. Листья эллиптические, снизу светлее. Малая требовательность к почве. Ствол прямой.

Некоторые экологические предпочтения сортовых тополей коллекции Дендрария СибГУ им. М. Ф. Решетнева представлены в таблице 2.

Таблица 2

Экологические предпочтения сортовых тополей [2, 4]

Наименование сорта	Экологические предпочтения
1	2
Робуста	Самый быстрорастущий и высокопродуктивный тополь из евроамериканских гибридов и самый требовательный к аэрации почвы. Отличается высокой экологической стабильностью быстрого роста. Может хорошо расти на легких богатых, среднеобеспеченных и даже бедных минеральными веществами почвах; лучше других тополей растет как при пониженном, так и при близком залегании грунтовых вод; переносит избыток извести в почве и слабое хлоридно-натриевое засоление.

1	2
Мариляндика	Растет быстро, выдерживает зимы лесостепи. Лучший рост показывает на плотных слегка щелочных почвах с низким содержанием извести и близким уровнем залегания грунтовых вод. Высокопродуктивный на богатых пойменных легкосуглинистых влажных почвах. Не терпит кислых, заболоченных и торфянистых почв. По сравнению с другими гибридами этот тополь сравнительно солеустойчив.
Серотина	Из всех евроамериканских гибридов наиболее долговечен и достигает наибольших размеров. Не выносит даже слабого засоления почвы. Хорошо растет на тяжелых, глинистых, но дренированных и обеспеченных влагой почвах.
Регенерата	Лучший рост показывает на богатых тяжелых почвах. Сильно транспирирующий. Предпочитает луговые почвы речных долин, влажные местообитания. В Западной Европе считается подходящим для выращивания на заболоченных торфянистых кислых почвах. Плохо переносит засуху.
Монилифера	Произрастает вдоль ручьев и озер, обычно в мезопочвах. Обильный тополь равнин.
Подмосковный	Весьма зимостоек, быстрорастущ, отличается малой требовательностью к почве, успешно растет на подзолистых почвах.

Перспективным с точки зрения сохранности в естественных условиях, при этом без особенных потерь в быстроте роста и низкосебжистости ствола, можно назвать сорт Робуста. Перспективными с точки зрения возможности применения в озеленении можно назвать сорта Робуста и Серотина – данные сорта являются мужскими, поэтому исключается явление «тополиного пуха».

Видовое и сортовое разнообразие тополя известно не широко и недостаточно изучено. В то же время, представители данного рода являются перспективными для многих отраслей деятельности: от лесного хозяйства до озеленения [5].

Библиографический список

1. Иванников С. П. Тополь. М. : Лесная промышленность, 1980. 85 с.
2. Редько Г. И. Биология и культура тополей. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. 175 с.
3. Усманов А. У. Дикие и культурные тополи средней Азии : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Ташкент, 1966. 46 с.
4. Царев А. П. Сортоведение тополя. Воронеж : Изд-во ВГУ, 1986. 152 с.
5. Жиленкова Е. С., Гончарова Н. Г. Селекционные формы тополя [Электронный ресурс]. – URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018011867> (дата обращения: 08.03.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В г. ЯРАНСКЕ

Л. А. Чибакова¹, О. В. Афанасьева¹, Т. В. Неверова¹, Е. В. Рябова²
¹ КОГ ОБУ «СШ с УИОП г. Яранска», leka0202@inbox.ru,
² Вятский государственный университет, ryapitschi@yandex.ru

Приводятся данные по изучению онтогенетической структуры ценопопуляции *Pinus sylvestris* L. в искусственных насаждениях г. Яранска. Онтогенетический спектр имеет один максимум, приходящийся на генеративные особи. По классификации «дельта-омега» ценопопуляция является зрелой.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., ценопопуляция, онтогенетическая структура, жизненное состояние, индекс возрастности, индекс эффективности.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – широко распространенный вид семейства Pinaceae. В соответствии с классификацией жизненных форм это вечнозеленое одноствольное прямостоячее кронообразующее дерево с подземной стержнекорневой системой. *P. sylvestris* является одной из основных лесообразующих пород, формируя интразональный тип растительности [1]. Несмотря на то, что этот вид древесных растений наиболее изученный, но вопросы внутривидовой систематики, эдафотипы, особенности жизненного состояния и онтогенетической структуры в различных почвенно-грунтовых и гидрологических условиях до сих пор являются актуальными.

Цель работы – исследовать жизненное состояние и возрастную структуру искусственных насаждений *P. sylvestris* в рекреационной зоне г. Яранска. Сосняк, посаженный в 1952–1962 гг., связывает между собой центральную часть города Яранска и микрорайон Яранского механического завода, испытывая значительную антропогенную нагрузку.

Исследование возрастной структуры *P. sylvestris* проводили в 2021 г. на пяти пробных площадях в соответствии с описанием онтогенетических состояний, предложенным коллективом авторов под руководством Л. А. Жуковой [2]. Возрастные спектры в виде гистограмм выражали в процентах от общего числа особей. Проростки, как наиболее динамичная и нестабильная онтогенетическая группа, в возрастных спектрах ценопопуляции (ЦП) не отражена. Для интегральной характеристики ЦП использовали индексы возрастности и эффективности. Тип популяций определяли по классификации А. А. Уранова и О. В. Смирновой с использованием классификации «дельта-омега» Л. А. Животовского [3]. Определение общего жизненного состояния (ОЖС) деревьев производили по лесотаксационным таблицам с суммарной оценкой ОЖС на всех пробных площадях.

На территории исследования проанализировано 50 экземпляров *P. sylvestris*. Наиболее представленной онтогенетической группой являются средневозрастные генеративные деревья: их доля составляет 92%. На долю

имматурных особей приходится 4%, виргинильных – 2%, ювенильных – 2%. Полностью отсутствуют молодые генеративные, старые генеративные и особи постгенеративного возрастного периода. Таким образом, ценопопуляция является нормальной неполночленной. Типовой возрастной спектр одновершинный с пиком на g_2 (рис. 1).

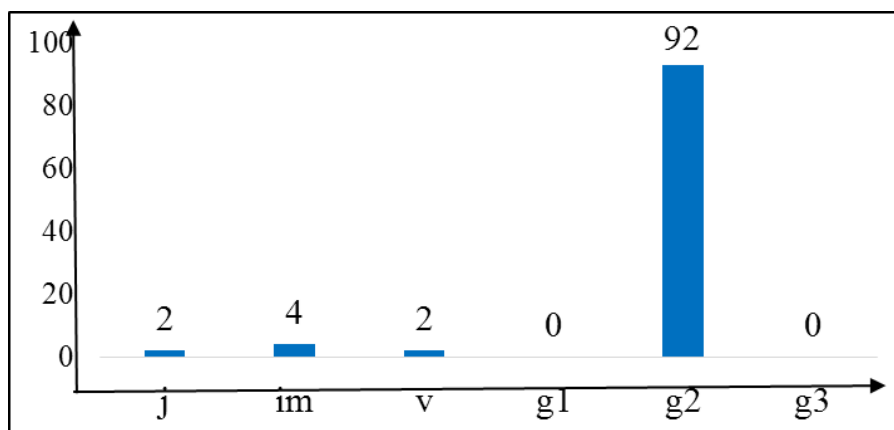


Рис. 1. Типовой возрастной спектр *Pinus sylvestris*

Индексы возрастности и эффективности по ЦП представлены в таблице.

Таблица

Индексы возрастности и эффективности *Pinus sylvestris*

ЦП	Индекс возрастности	Индекс эффективности
1	0,5	1
2	0,4	0,8
3	0,5	1
4	0,5	1
5	0,44	0,9

В целом исследуемое насаждение по классификации «дельта-омега» классифицируется как зрелая ценопопуляция, что подтверждается малым числом особей прегенеративного возрастного периода.

У большинства экземпляров *P. sylvestris* (51%) жизненное состояние относится к 0 классу, что свидетельствует о нормальном развитии растений, отсутствии повреждений и деформаций ствола и кроны. 19% имеют 1 класс ОЖС, что проявляется в небольшой дефолиации, малом количестве шишек. 16% имеют 2 класс ОЖС: у них выявлены повреждения коры и дефолиация. 14% обследованных растений с нарушенной репродуктивной функцией относятся к 3 классу ОЖС (рис. 2).

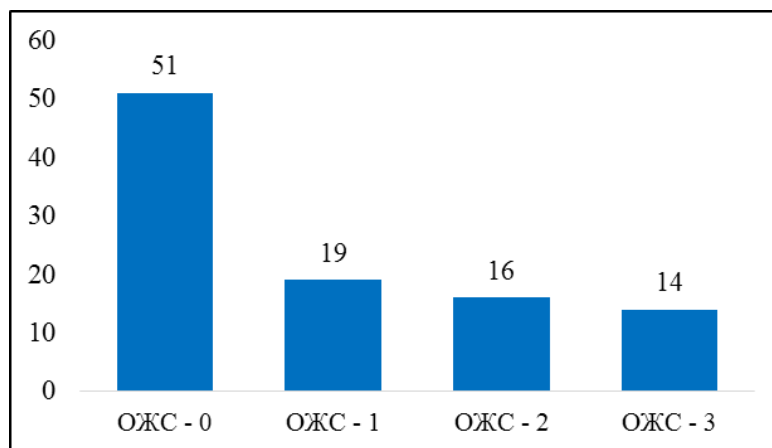


Рис. 2. Общее жизненное состояние *Pinus sylvestris*: по оси ординат – число особей (%)

Исследования показали, что насаждения *P. sylvestris* представляют зрелую ценопопуляцию с доминированием зрелых генеративных растений. 51% исследуемых растений имеет нормальное развитие без повреждений и деформаций. Однако слабая возобновляемость *P. sylvestris* со временем может привести к нарушению устойчивости ценопопуляции.

Библиографический список

1. Леса Кировской области / под ред. А. И. Видякина, Т. Я. Ашихминой, С. Д. Новоселова. Киров : ОАО «Кировская областная типография», 2008. 400 с.
2. Онтогенез сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / Л. А. Жукова, А. А. Нотов, Н. В. Турмухаметова, И. С. Тетерин // Популяционная экология растений. Йошкар-Ола, 1994. С. 26–65.
3. Тетерук Л. В. Практические рекомендации по проведению ценопопуляционных исследований редких и охраняемых видов растений // Инновационные методы и подходы в изучении естественной и антропогенной динамики окружающей среды : материалы Всерос. науч. школы для молодежи (в 3 частях). Часть 2. Семинары (Киров, 30 ноября – 5 декабря 2009 г.). Киров : ООО «Лобань», 2009. С. 22–37.

БРИОФЛОРА ДОНБАССА КАК РЕСУРС ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРАКТИК

Е. Н. Бондарь

Донецкий национальный университет, bondar.liza2015@yandex.ru

Представлена информация об использовании некоторых видов мохообразных для проведения мониторинговых исследований в экотопах Центрального Донбасса. Перечислены новые в Горловско-Енакиевской промышленной агломерации бриобионты, роль которых важна для эколого-ботанических экспертиз промышленных регионов Северного Приазовья.

Ключевые слова: Донбасс, мохообразные, фитомониторинг, фитоиндикация.

Изучение мохообразных в таксономическом и эколого-ценотическом отношении представляет собой интерес для регионов с высокой техногенной нагрузкой [1–4]. Используя уникальность этой древней группы растений, ученые проводят инвентаризационные работы и реализуют прикладные мониторинговые программы, которые не были ранее доступны, изучая преимущественно цветковые растения [5–7].

Цель работы – представить актуальную ботанико-экологическую сводку по состоянию вопроса бриологической инвентаризации в Горловско-Енакиевском промышленном узле Донбасса и использованию идентифицированных видов в практической деятельности фитомониторингового назначения.

В систематическом отношении опирались на общие справочные издания [8, 9] и региональный определитель [7]. Работа является продолжением научной программы по изучению бриобионтов в Донбассе [10, 11].

Модельными объектами для экологического эксперимента выбраны виды *Homalothecium lutescens* (Hedw.) Robins. (рис. 1) и *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. (рис. 2). Гаметофиты этих видов были использованы как в опытах по пассивному мониторингу (сбор объектов в 13-ти учетных точках – местах интенсивной антропогенной деятельности металлургического и химического производств, а также в экотопах рекреационного и заповедного режимов) и в программе активного мониторинга при реализации эксперимента по трансплантации видов путем вегетативного деления в эти же учетные площадки с последующим сравнением жизненного состояния и элементного содержания некоторых токсических элементов, которые входят в список приоритетных загрязнителей в результате промышленных выбросов.



Рис. 1. *Homalothecium lutescens* (Hedw.) Robins.

Трансплантационные манипуляции проведены с марта 2021 г. по март 2022 г. В каждой учетной площадке размещены образцы в пятикратной повторности стандартным методом конверта. По жизненному состоянию пересаженные виды не отличались от аборигенно произрастающих, однако процент приживаемости модельных образцов на новых местах был различным: *Homalothecium lutescens* – 84%, *Hylocomium splendens* – 79% в конце годового

опыта, что явилось достаточным для получения биосубстрата и камерального анализа. Фотографирование и полевую гербаризацию проводили в первой половине июня 2021 г.



Рис. 2. *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.

Установлено, что в ценотическом отношении виды вступают в контакт с другими представителям бриобионотов (*Tortula mucronifolia* Schwaegr.; *Dicranella cerviculata* (Hedw.) Schimp.; *Weissia brachycarpa* (Nees & Hornschuch) Juratzka; *Amblystegium subtile* (Hedw.) Schimp.) и образуют плотные ассоциативные группировки.

Первичный сравнительный анализ по сорбционной способности в межвидовом отношении позволяет рекомендовать вид *Homalothecium lutescens* для адекватной индикации соединений кадмия, никеля и ртути, а вид *Hylocomium splendens* – для индикации по накоплению соединений кобальта, стронция, цинка и в некоторых случаях – высоких концентраций свинца, если уровень фоновых концентраций этого элемента превышает 300 мг/кг в территориально сопряженных эдафотопках.

Важной находкой в 2021 г. была регистрация произрастания редких для Донецкого природного региона видов *Abietinella abietina* (Hedwig) Fleisch. и *Plagiomnium affine* (Blandow ex Funck) T. J. Кор. – зафиксированы по одному геолокалитету, что в значительной степени увеличивает флористическое разнообразие бриобионтов (на 7%) Горловско-Енакиевской промышленной агломерации по состоянию на начало 2022 г. Указанные виды вписаны в списки перспективных для анализа и дальнейшего внесения в охраняемые перечни на местном уровне.

Таким образом, роль мохообразных промышленно развитых и антропогенно трансформированных природных систем заключается в генном разнообразии биоконпонентов, занятии специфических экологических ниш, частичном задержании поверхности с предотвращением эрозионных процессов и возможности реализации некоторых мониторинговых программ экологического и ботанико-ценотического учета состояния локальных ландшафтных систем.

Библиографический список

1. Алемасова А. С. Накопление тяжелых металлов мохообразными в различных экотопах Донбасса // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : материалы Междунар. науч. конф. Киров : ВятГУ, 2019. С. 60–65.
2. Сафонов А. И., Морозова Е. И. Видовое разнообразие бриобионтов мониторинговой сети Центрального Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1–2. С. 39–43.
3. Сергеева А. С., Алемасова А. С. Диагностика антропогенно трансформированных экотопов Донбасса по содержанию тяжелых металлов в гаметофитах мохообразных // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2019. С. 15–18.
4. Nozhinkov A. Mosses flora of coal dumps of Kuzbass // BIO Web Conf. 2021. 31. doi: 10.1051/bioconf/20213100019
5. Морозова Е. И. Видовой состав, особенности произрастания и морфометрическая характеристика мхов-индикаторов г. Макеевки // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса. Донецк : ДонНУ, 2017. С. 100–102.
6. Сафонов А. И., Морозова Е. И. Редкие виды мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 112. С. 33–43.
7. Сафонов А. И., Морозова Е. И. Мохообразные Донецкой агломерации: иллюстрированный атлас и бриоиндикация. Донецк : ДонНУ, 2018. 128 с.
8. Игнатов М. С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части европейской России. М. : КМК, 2003. Т. 1. 608 с.; М. : КМК, 2004. Т. 2. С. 608–994.
9. Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 1–130.
10. Бондарь Е. Н. Бриобионты городских агломераций Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2020. Вып. 12. Т. 1. С. 31–34.
11. Бондарь Е. Н. Фрагмент бриотеки городских агломераций Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2021. Вып. 13. Т. 1. С. 19–23.

КАРПОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ДОНБАССА

Д. В. Иванова

Донецкий национальный университет, kf.botan@donnu.ru

Рассчитаны интегральные морфометрические характеристики плодов индикаторных видов Донбасса для установления карпологической пластичности растений в контрастных геохимических условиях промышленного региона. Указаны геолокалитеты сборов, значения гетерокарпии на уровне особи и ценопопуляции, тератологические проявления.

Ключевые слова: карпология, фитомониторинг, Донбасс, гетерокарпия, тератология растений.

Эмбриотоксические и тератологические эффекты в карпологических структурах растений представляют собой интерес как с позиций фундаментальной науки, принимая строение плода в качестве одного из самых консервативных признаков для отдельных таксонов в условиях экологических флуктуаций, так и в прикладном аспекте фитоиндикационно-мониторингового назначения [1–3]. Генеративная гетерогенность растений является объектом изучения нео-ландшафтов [4], затрагивает вопросы формирования семенного банка эдафотопов [5], ресурсного информационного потенциала в индикационной ботанике [6] и экологической экспертизе [7], в том числе для разных элементов диссеминации в промышленном регионе [8–10].

Цель работы – провести морфоструктурный анализ индикаторных видов растений семейства капустных (сорно-рудеральный доминант) по признакам их карпологической пластичности в разных экотопах Донбасса.

Сбор образцов плодов и семенного материала осуществляли по методическим рекомендациям лаборатории фитомониторинга Донецкого национального университета [3, 5–7] в рамках активности студенческого и аспирантского научного общества кафедры ботаники и экологии [9, 10].

В эксперименте по карпологической пластичности были собраны данные о следующих видах растений: *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Alliaria petiolata* (M. Bieb.) Cavara & Grande, *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Alyssum alysoides* L., *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh, *Berteroa incana* (L.) DC., *Brassica campestris* L., *Erysimum aureum* M. Bieb. Первичные данные (абсолютные показатели длины, ширины плода, в рамках одного соцветия или одной особи, в пределах ценопопуляции) рассчитывали в камеральных условиях и для гербарных образцов. Диапазоны варьирования размеров плодов представителей семейства капустных весьма разнообразны в контрастных геохимических условиях, поэтому абсолютные их значения рассматривали как видоспецифические признаки, а интегральные характеристики расчетного способа получения информации (табл.) – наиболее важный и информативный показатель, доказывающий пластичность вида в разных экологических условиях биотопов Донбасса. Табличные данные внутри вида ранжировали таким образом, чтобы сначала представить информацию по контрольным фоновым точкам, а в последующем – по учетным площадкам с ориентировочно высоким техногенным загрязнением или антропогенной трансформацией среды.

Установлено, что наиболее близкая статистическая связь (коэффициент корреляции +0,72) между параметрами абсолютной гетерокарпии и частотой регистрации тератологических новообразований в генеративной сфере (использовали процентный индекс от количества всех изученных морфологических признаков). Показатель матрикальной гетерокарпии (рассчитан как аутииндикационный признак в рамках одного соцветия) является видоспецифической характеристикой и в случае с видами *Alliaria petiolata*, *Alyssum alysoides*, *Arabidopsis thaliana*, *Brassica campestris* и *Erysimum aureum* характеризуется как правило меньшими величинами, чем абсолютные значения признака морфологической пластичности, а для видов *Capsella bursa-pastoris*,

Berteroa incana, *Diplotaxis muralis* превышает значения целопопуляционного абсолюта и не коррелируют с тенденцией к тератообразованию.

Таблица

Интегральные морфометрические характеристики плодов индикаторных видов растений в Донбассе

Вид	Характеристики вида			
	Геолокация	абсолютная гетерокарпия	матрикальная гетерокарпия	частота терат, %
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	47°52'16"N; 37°57'26"E	5,0 ± 0,15	12,5 ± 2,15	2,5
	48°01'03"N; 37°47'39"E	5,8 ± 0,27	24,4 ± 4,01	3,3
	47°47'23"N; 37°56'34"E	4,1 ± 0,35	23,8 ± 4,51	2,0
	48°16'16"N; 38°04'00"E	7,1 ± 0,18	12,6 ± 3,93	7,5
	48°08'13"N; 38°21'28"E	21,0 ± 1,49	22,6 ± 4,67	12,2
	48°15'21"N; 38°27'22"E	23,8 ± 1,92	24,4 ± 4,54	11,2
	47°58'58"N; 37°55'03"E	20,9 ± 1,84	20,8 ± 4,09	16,9
<i>Alliaria petiolata</i> (M. Bieb.) Cavara & Grande	47°52'16"N; 37°57'26"E	3,2 ± 0,19	2,9 ± 0,88	2,6
	48°16'16"N; 38°04'00"E	6,0 ± 0,22	5,8 ± 0,27	4,7
	48°08'13"N; 38°21'28"E	8,4 ± 0,16	6,3 ± 0,82	11,9
	48°18'18"N; 38°21'57"E	9,0 ± 2,72	4,9 ± 0,73	14,6
<i>Diplotaxis muralis</i> (L.) DC.	47°52'16"N; 37°57'26"E	3,8 ± 0,12	5,5 ± 0,12	2,2
	48°01'03"N; 37°47'39"E	3,9 ± 0,09	9,2 ± 2,83	2,5
	47°47'23"N; 37°56'34"E	3,1 ± 0,08	12,6 ± 2,45	5,7
	48°16'16"N; 38°04'00"E	10,0 ± 2,29	11,2 ± 3,50	6,9
	48°13'02"N; 38°13'49"E	12,4 ± 3,83	14,6 ± 3,62	17,5
	48°15'21"N; 38°27'22"E	10,2 ± 0,73	13,3 ± 1,98	17,9
<i>Alyssum alysoides</i> L.	48°01'03"N; 37°47'39"E	5,2 ± 0,15	4,6 ± 0,08	3,2
	47°58'58"N; 37°55'03"E	9,8 ± 3,16	4,1 ± 0,09	10,3
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh	48°16'16"N; 38°04'00"E	4,9 ± 0,37	4,3 ± 0,02	3,0
	48°08'13"N; 38°21'28"E	5,3 ± 0,09	4,0 ± 0,10	12,3
	48°18'18"N; 38°21'57"E	10,9 ± 3,54	7,1 ± 2,37	11,5
<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	47°52'16"N; 37°57'26"E	5,0 ± 0,09	12,4 ± 2,86	2,0
	48°01'03"N; 37°47'39"E	5,0 ± 0,12	7,0 ± 0,81	2,9
	48°16'16"N; 38°04'00"E	9,3 ± 0,37	10,4 ± 1,55	3,7
	48°15'21"N; 38°27'22"E	7,0 ± 0,39	9,6 ± 0,52	5,6
	48°08'13"N; 38°21'28"E	7,9 ± 0,31	9,2 ± 0,46	5,0
	48°13'02"N; 38°13'49"E	22,1 ± 4,02	23,1 ± 4,07	18,2
	47°58'58"N; 37°55'03"E	23,2 ± 3,66	27,3 ± 4,19	21,3
<i>Brassica campestris</i> L.	47°52'16"N; 37°57'26"E	3,0 ± 0,08	2,9 ± 0,07	3,3
	47°47'23"N; 37°56'34"E	6,0 ± 0,09	2,0 ± 0,09	2,5
	48°15'21"N; 38°27'22"E	6,9 ± 0,08	3,9 ± 0,08	5,9
	48°08'13"N; 38°21'28"E	12,0 ± 2,21	4,5 ± 0,07	7,6
	48°18'18"N; 38°21'57"E	13,3 ± 1,94	11,4 ± 2,13	7,0
<i>Erysimum aureum</i> M. Bieb.	48°01'03"N; 37°47'39"E	2,1 ± 0,07	1,9 ± 0,02	12,7
	47°58'58"N; 37°55'03"E	14,4 ± 4,93	12,6 ± 2,33	15,0
	48°18'18"N; 38°21'57"E	17,2 ± 1,88	12,5 ± 1,76	19,6

Таким образом, тенденция к проявлению гетерокарпии и экологической пластичности изученных видов семейства капустных в Донбассе имеет индикаторный смысл в случае с расчетом для конкретной ценопопуляции; про-

явление аномальных преобразований в строении плода также обусловлено стрессовыми условиями промышленной среды.

Библиографический список

1. Bepalova S. V. Determination of bioindicators sensitivity thresholds for ecologically unfavourable environmental factors // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2010. № 1(10). С. 9–25.
2. Внуков С. Ю. Карпологическая индикация в условиях городской среды // Донецкие чтения 2016: Образование, наука и вызовы современности : материалы I Междунар. науч. конф. Донецк : ЮФУ, 2016. С. 274–275.
3. Сафонов А. И. Структурная разнокачественность эмбриональных структур фитоиндикаторов в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2016. № 3–4. С. 23–29.
4. 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 : материалы Междунар. науч. конф. Донецк : ДонНУ, 2017. С. 80–82.
5. Safonov A. I. Initial screening of seed bank of phytoindicators of technogenic pressure on edaphotopes in Donbass // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2010. № 1 (10). С. 92–96.
6. Сафонов А. И. Фитоэмбриональный скрининг в экологическом мониторинге Донбасса // Зеленый журнал – Бюллетень ботанического сада Тверского государственного университета. 2017. Вып. 3. С. 5–12.
7. Safonov A. I. Approbation of botanical expertise method in ecological monitoring // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 2. С. 219–221.
8. Глухов А. З. Состояние пыльцы *Tripleurospermum perforatum* (Merat) M. Laipz и *Cichorium intybus* L. при загрязнении почв тяжелыми металлами // Промышленная ботаника. 2001. Т. 1. С. 84–87.
9. Иванова Д. В. Фенотипическая индикация с помощью *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. в Донбассе // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2021. Т. 1. № 13. С. 78–82.
10. Абрамян Е. А. Эмбриональные признаки растений-индикаторов г. Донецка // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Донецк : ДонНУ, 2021. Т. 1. № 13. С. 5–9.

СПЕЦИФИЧНОСТЬ ПЫЛЕОСАЖДЕНИЯ ТРАВЯНИСТЫМИ РАСТЕНИЯМИ В ПРОМЫШЛЕННО РАЗВИТОМ ДОНБАССЕ

Д. С. Воронцова

Донецкий национальный университет, kf.botan@donnu.ru

Установлена межвидовая специфичность пылеосаждения как способность к задерживанию мелкодисперсной преимущественно промышленной пыли у разных травянистых растений сорно-рудеральной фракции урбанофлоры Донецка. Проведено качественное сравнение эффекта пылеосаждения с анатомо-морфологическими характеристиками поверхности листовой пластинки изученных видов растений.

Ключевые слова: Донбасс, строение листа, пылеосаждение, фитоиндикация, фитомониторинг.

Эффект оптимизации промышленной среды посредством растительной компоненты является ведущим в естественных процессах детоксикации антропогенных загрязнений [1, 2]. Растения в условиях индустриальных регионов хронически подвержены неблагоприятным воздействиям и, проявляя разные стратегии отклика, рассматриваются специалистами с индикационных позиций [3, 4]. Пылефильтрация с помощью растений изучена в Донецком регионе частично для древесных форм [5, 6], что также является важной составляющей в оценке способов оптимизации и индикации загрязнений [4, 7–10]. Эффективность пылеосаждения с помощью травянистых растений в промышленных городах Восточной Европы степной зоны до сих пор не была предметно изучена.

Цель работы – выделить особенности накопления пылевых частиц на верхней поверхности листовой пластинки растений по сравнительному качественному анализу в промышленно загрязненном месте произрастания и в условиях фоновых загрязнений рекреационной территории г. Донецка, рассмотреть связь накопления частиц с анатомо-морфологическими особенностями поверхности листа.

Эксперимент проведен в 2021 г. в двух экотопах: в зоне максимального импакта Донецкого металлургического завода и на открытой территории ландшафтного Парка Ленинского Комсомола, имеющего рекреационное назначение для жителей г. Донецка. Анализ содержания пыли на поверхности листовых пластинок проводили общепринятыми методами, как и для древесных растений [1, 2, 5, 6, 10].

Экотопы были выбраны таким образом, чтобы в обоих случаях встречались сорно-рудеральные виды (табл.) в количестве не менее 5 особей на площади 40 x 40 м. Объем выборки по аналитическому контролю – 20 замеров как по пылеосаждению на листовой пластинке, так и по анатомическим характеристикам.

Таблица

Характеристики анатомического строения поверхности листа и показателей пылеосаждения травянистых растений Донбасса

Вид	Характеристики		
	особенности структуры поверхности листовой пластинки	пылеосаждение в условиях промышленного импакта, мг/м ²	пылеосаждение в зоне фонового загрязнения, мг/м ²
1	2	3	4
<i>Alliaria petiolata</i> (M. Bieb.) Cavara & Grande	кутикула плотная, трихомы средней плотности	2,4±0,02	1,0±0,01
<i>Alsine media</i> L.	волоски кроющего и звездчатого типов, густо	6,0±0,08	2,1±0,03

1	2	3	4
<i>Alyssum alysoides</i> L.	трихомы редко, рыхлая кутикула, глянцевая поверхность	1,8±0,02	0,8±0,02
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh		9,6±1,33	3,3±0,08
<i>Artemisia absinthium</i> L.	войлочная густая шероховатость, головчатые и кроющие трихомы	1,0±0,02	0,7±0,01
<i>Atriplex mircantha</i> C.A.Mey.		20,1±2,29	14,9±0,97
<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	трихомы редко, плотная кутикула	18,4±1,64	11,8±1,30
<i>Brassica campestris</i> L.	трихомы редко, рыхлая кутикула, локально без опушения	6,2±0,09	2,3±0,07
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.		16,7±1,34	11,8±1,21
<i>Cichorium intybus</i> L.	войлочная поверхность из трихом разного типа	3,1±0,09	1,1±0,02
<i>Dianthus campestris</i> M. Bieb	трихомы редко, плотная кутикула	2,5±0,02	1,0±0,04
<i>Diploaxis muralis</i> (L.) DC.	трихомы редко, рыхлая кутикула	18,1±1,63	12,9±1,26
<i>Echium vulgare</i> L.	войлочная поверхность из трихом разного типа, кроющие и волосковидные	16,9±1,27	12,4±1,08
<i>Erysimum aureum</i> M. Bieb.		9,7±0,29	3,8±0,08
<i>Gypsophila paniculata</i> L.	глянцевая поверхность, кутикула	7,5±0,82	2,7±0,09
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	трихомы редко, плотная кутикула	1,4±0,02	1,2±0,02
<i>Moehringia trinervia</i> (L.) Clairv.	глянцевая поверхность, трихомы единично	7,8±0,16	2,3±0,03
<i>Plantago lanceolata</i> L.	трихомы редко, плотная кутикула	17,3±1,34	13,1±1,71
<i>Polygonum aviculare</i> L.	глянцевая поверхность, трихомы единично	20,4±2,07	14,0±0,37
<i>Portulaca oleracea</i> L.	плотный слой кутина, без трихомообразования	10,3±0,97	5,9±0,05
<i>Sagina procumbens</i> L.		9,1±1,22	3,7±0,04
<i>Senecio vulgaris</i> L.	войлочная поверхность из трихом разного типа	8,6±0,94	3,4±0,09
<i>Stellaria subulata</i> Boeber ex Schlecht.	войлочная поверхность из звездчатых трихом	10,5±0,62	5,7±0,02
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	плотная кутинизация, кроющие трихомы часто	18,8±1,08	11,4±0,75

Установлено, что накопление (оседание, задерживание) пыли на поверхности листовой пластинки не имеет прямой корреляции с анатомической структурой и поверхностью в целом. Теоретические предположения о формах связывания пылевых частиц с конформационными тканями внутри растительного организма могут увеличить оптимизационный эффект, но не относятся к целевой программе представленного эксперимента, для чистоты которого листовые пластинки были вымыты дистиллятом и экспонировались 7 суток в условиях без выпадения осадков.

Наибольший пылеосаждающий эффект отмечен для видов *Atriplex mircantha*, *Polygonum aviculare*, *Plantago lanceolata*, *Echium vulgare*, *Diploaxis*

muralis, *Capsella bursa-pastoris*, *Tanacetum vulgare*, *Berteroa incana* как в условиях промышленного загрязнения, так и в условном контроле при фоновых уровнях запыленности воздуха. Перечисленные виды рекомендованы для дальнейших экспериментов в фитооптимизационных мероприятиях региона.

Библиографический список

1. Чернышенко О. В. Пылефильтрующая способность древесных растений // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2012. № 3. С. 7–10.
2. Качмазова И. К. Особенности пылефильтрующей способности древесных растений в городе и возможности их использования // Вестник ландшафтной архитектуры. 2020. № 24. С. 21–24.
3. Киселева Д. В. Интегральная таблица фитоквантификационной экспертизы экотопов Донбасса по *Cichorium intybus* L. // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». 2020. Т. 1. № 12. С. 73–77.
4. 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 : материалы Междунар. науч. конф. Донецк : ДонНУ, 2017. С. 80–82.
5. Авдеева А. В. Подходы российских ученых в изучении пылефильтрующей эффективности дендропарковых насаждений промышленного города в Донбассе // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса : материалы Междунар. науч. конф. Донецк : Донецкий национальный университет, 2017. С. 54–56.
6. Склярова С. В. Пылеулавливающая эффективность древесных и кустарниковых растений в промышленном городе Донбасса // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы V Междунар. науч. конф. Донецк : Донецкий национальный университет, 2020. С. 257–259.
7. Сафонов А. И. Инвентаризация промышленных объектов Донбасса по фитоиндикационным критериям // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2019. № 1. С. 121–128.
8. Сафонов А. И. Сорно-рудеральная фракция урбанофлоры Донецкой агломерации как показатель трансформации локальных экосистем // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : материалы Междунар. науч. конф. Киров : ВятГУ, 2019. С. 13–16.
9. Сафонов А. И. Стратегическая потенциализация фитоиндикаторов техногенных загрязнений // Аграрная Россия. 2009. № 51. С. 58–59.
10. Сарапкина Е. В. Роль пылефильтрующей способности древесных растений в производстве экосистемных услуг городских насаждений // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий. Екатеринбург : УГЛУ, 2021. С. 239–241.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH) ДЛЯ ИНДИКАЦИИ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

М. А. Тупицына, А. Ю. Кауров, А. С. Олькова
Вятский государственный университет, *morgan-abend@mail.ru*

В статье представлена индикаторная роль флуктуирующей асимметрии (ФА) березы повислой (*Betula pendula* Roth). На примере города Кирова (Россия) показаны методологические проблемы использования ФА для биоиндикации: определение контрольных участков, наличие различных шкал оценки показателей, влияние на изменение показателей множества экологических факторов.

Ключевые слова: биоиндикация, загрязнение окружающей среды, флуктуирующая асимметрия, *Betula pendula* Roth.

Феномен флуктуирующей билатеральной асимметрии достаточно давно изучается в биологических науках, в том числе экологии. По «классическим» представлениям незначительная, но статистически значимая разница между величинами левого и правого морфологического параметра, является признаком определенного неблагополучия организма [1]. Например, у листьев петрушки могут проявляться четыре билатеральных признака: длины первых и вторых черешков первого порядка, отходящих от рахиса, а также длины черешков второго порядка, отходящих от первого черешка первого порядка наружу и внутрь листа [2]. У амфибий асимметричное строение плечевого пояса определяется различием в тоне мышц противоположных сторон, что в свою очередь, связано с функциональной асимметрией нервной системы: различный тонус мускулатуры приводит к сдвигу одного из эпикоракоидов от средней линии тела [3].

Однако в последнее время появляются работы, критикующие использование флуктуирующей асимметрии (ФА) для целей биодиагностики качества окружающей среды. Основными спорными аспектами, обсуждаемыми в критических работах [4, 5], можно назвать: использование шкал оценки и одновременный отказ от контрольной выборки; предположение о том, что организмы, находящиеся в экологически неблагополучной среде, обязательно реагируют изменением ФА на данное воздействие; отрицание или недостаточный учет иных экологических факторов, помимо уровня загрязнения окружающей среды, например, погодных условий года сбора биоматериала.

Целью данной работы было показать на примере ФА листьев *Betula pendula* Roth (березы повислой) влияние формальных критериев – шкал оценки – на выводы об экологическом состоянии окружающей среды или благополучии живых организмов.

Листья *B. pendula* были собраны в сентябре 2021 г. в разных парковых зонах г. Кирова, отличающихся интенсивностью автотранспортной нагрузки вблизи точки сбора. На каждом участке с 10 деревьев отобрано по 10 листьев, в итоге выборка составила 100 листьев. Далее половины каждого листа измеряли по пяти параметрам и вычисляли коэффициент асимметрии (Ka) согласно методическим рекомендациям [6]. Затем участки оценивали по двум шкалам:

1 шкала: $<0,055$ – чисто; $0,056–0,6$ – относительно чисто; $0,06–0,065$ – загрязнено; $0,065–0,07$ – грязно; $>0,070$ – очень грязно [7];

2 шкала: $<0,040$ – условная норма; $0,040–0,044$ – слабое отклонение от стабильного развития; $0,045–0,049$ – нарушение стабильного развития; $0,050–0,054$ – отклонение от стабильного развития; $>0,054$ – высокое отклонение от стабильного развития [8].

На рисунке показаны результаты оценки окружающей среды на участках отбора проб по разным шкалам.

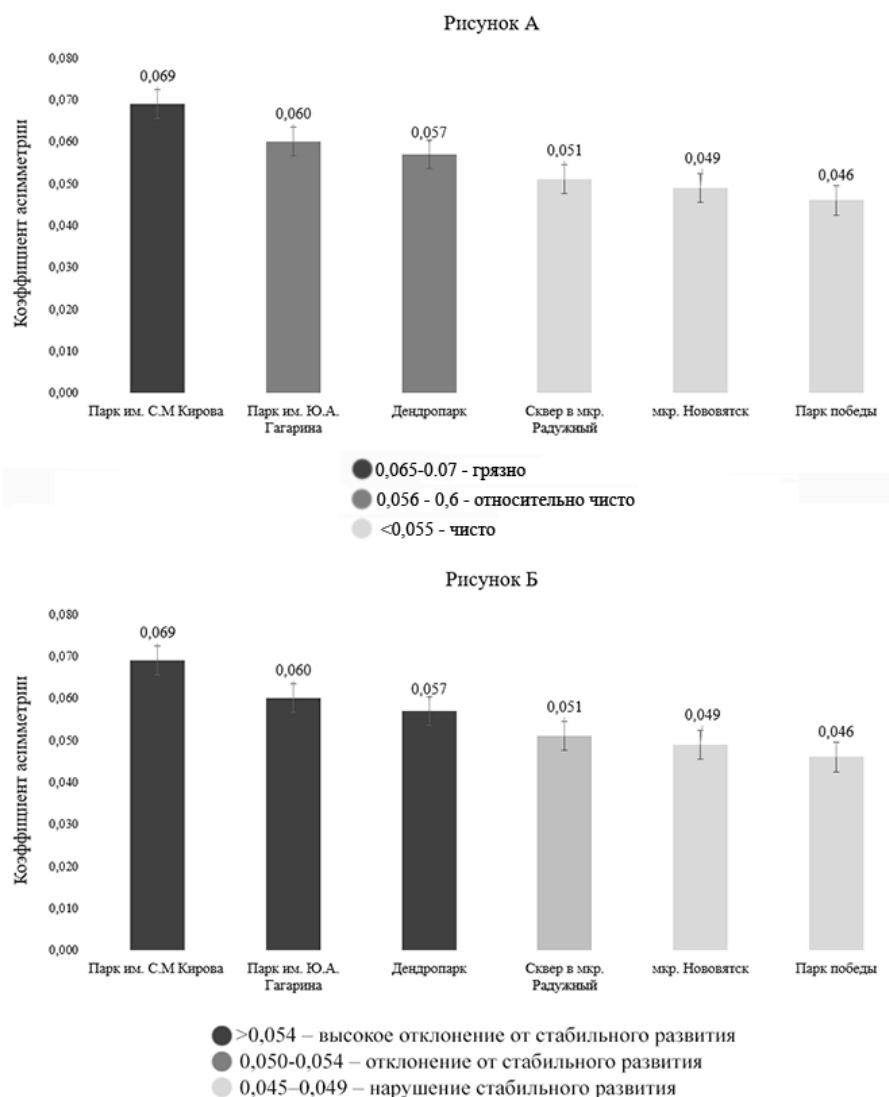


Рис. Ранжирование флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* на разных участках г. Кирова:
А – по А. Б.Стрельцову [7], Б – по В. М. Захарову [8]

В целом, результаты оценки ФА листьев березы на разных участках города согласуются с уровнем автотранспортной нагрузки вблизи точек отбора биопроб. Так парк им. С. М. Кирова (район городского Цирка) и парк им. Ю. А. Гагарина расположены вблизи наиболее крупных автодорог – Октябрьского проспекта и улицы Ленина соответственно. Именно здесь выявлены наиболее высокие уровни ФА. Другие участки отбора, кроме парка Победы, находятся на окраине города или в рамках городской агломерации. Эта часть участков характеризовалась снижением показателей ФА относительно городского центра.

С точки зрения справедливых критических замечаний можно сказать, что в условиях изучения экологического состояния города довольно трудно выбрать контрольный участок, поскольку комплекс экологических условий в урбоэкосистеме и за ее пределами неминуемо будет различаться. Среди выбранных нами участков контрольным может считаться сквер в мкр. Радужный, фактически находящийся в пригородной зоне. По более «строгой» шкале он характеризуется нарушением стабильного развития, а по другой шкале участок можно назвать «чистым».

Другое критическое замечание говорит о том, что высокие уровни асимметрии не всегда могут наблюдаться даже в загрязненных районах. В нашем исследовании таким участком стал парк Победы, находящийся вблизи крупных авторазвязок города, при этом отличающийся самым низким уровнем ФА. Возможным объяснением этого факта может быть то, что возраст берез в парке Победы меньше, чем на других участках, и они имеют больший адаптационный потенциал.

Также согласимся с тем, что нужно учитывать максимальное количество экологических факторов при интерпретации результатов биоиндикации. Например, практически общепринятой является позиция о том, что ФА листьев *B. pendula* свидетельствует о загрязнении воздуха, хотя логично предположить, что загрязнение почвы тоже будет влиять на морфологические параметры древесных растений.

Таким образом, в представленной работе на примере флуктуирующей асимметрии *B. pendula* показано, что нужно критично относиться к шкалам биоиндикационных оценок и стремиться устанавливать зависимости биоиндикационных показателей от комплекса экологических факторов.

Библиографический список

1. Palmer A. R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry – measurement, analysis, patterns // Ann. Rev. Ecol. Syst. 1986. Vol. 17. P. 391–421.
2. Ракутько С. А., Васькин А. Н., Ракутько Е. Н. Статический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листьев петрушки (*Petroselinum tuberosum*) при выгонке под различным спектром излучения // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017. № 46. С. 253–260.
3. Костылев М. А., Малашичев Е. Б. Корреляция асимметрии плечевого пояса у *Xenopus laevis* с асимметрией скелета конечностей // Доклады академии наук. 2007. № 5. С. 709–712.

4. Козлов М. В. Исследования флуктуирующей асимметрии растений в России: мифология и методология // Экология. 2017. № 1. С. 3–12. doi:10.7868/S0367059717010103
5. Трубянов А. Б. Анализ показателей флуктуирующей асимметрии : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08. Нижний Новгород, 2010. 23 с.
6. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Распоряжение МПР № 460-р от 16.10.2003. М., 2003. 24 с.
7. Стрельцов А. Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга : Изд-во Калужского ЦНТИ, 2003. 431 с.
8. Здоровье среды: методика оценки / В. М. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов, А. В. Валецкий, Н. Г. Кряжева, Е. К. Чистякова, А. Т. Чубинишвили. М. : ЦЭПР, 2000. 65 с.

ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДА КИРОВО-ЧЕПЕЦКА

М. В. Демин, Е. В. Рябова
Вятский государственный университет, degmksa@gmail.com

Представлены результаты исследования относительного жизненного состояния искусственных древесно-кустарниковых насаждений, произрастающих на территории г. Кирово-Чепецка.

Ключевые слова: кустарник, дерево, категория состояния.

Загрязнения городской среды оказывают влияние на состояние зеленых насаждений. Повреждения могут проявляться на физиолого-биохимическом уровне, а в дальнейшем приводить к развитию видимых симптомов: поражаются ткани листьев хлорозом и некрозом, листовые породы сбрасывают листья раньше окончания вегетационного периода, снижается устойчивость к естественным неблагоприятным факторам среды [1]. Поэтому оценка состояния деревьев и кустарников и степени влияния на них антропогенных факторов становится особенно актуальной [2, 3].

В летний период 2020–2021 гг. были проведены исследования жизненного состояния искусственных древесно-кустарниковых насаждений на территории аллей и парков города Кирово-Чепецка. Насаждения деревьев и кустарников изучали на пробных площадях размером (10 x 10) м² и маршрутным способом на 9 объектах, расположенных на улице Ленина (парковая зона, территория около художественной школы, аллея вблизи магазина «Магнит», насаждения около электромашиностроительного техникума и центра культурного развития), Некрасова (насаждения у лица), Вятской Набережной (аллея у Вечного огня и посадки вдоль улиц) и проспекте Кирова (вблизи Почта Банк).

У деревьев и кустарников оценивали категорию состояния, высчитывали среднее значение с определением коэффициента комплексной экологической оценки (ККЭО). Коэффициент высчитывали по формуле:

$$ККЭО = \frac{Б_{сд} * ПК_{д} + Б_{ск} * ПК_{к}}{\sum ПК_{д,к}}, \quad (1)$$

где $B_{сд}$ – балл состояния дерева; $B_{ск}$ – балл состояния кустарников; $ПК_{д,к}$ – поправочный коэффициент древостоя и кустарников; $ПК_{д}$ – поправочный коэффициент древостоя; $ПК_{к}$ – поправочный коэффициент кустарника.

Были изучены следующие виды деревьев: береза повислая – *Betula pendula* Roth (68 шт.), липа сердцевидная – *Tilia cordata* Mill. (33 шт.), клен ясенелистный – *Acer negundo* L. (20 шт.), яблоня – *Malus* sp. (16 шт.), ясень пенсильванский – *Fraxinus pennsylvanica* March. (16 шт.). Среди изучаемых экземпляров деревьев 79% имеют первую категорию жизнеспособности, 17% – вторую, а 4% – третью (рис.).

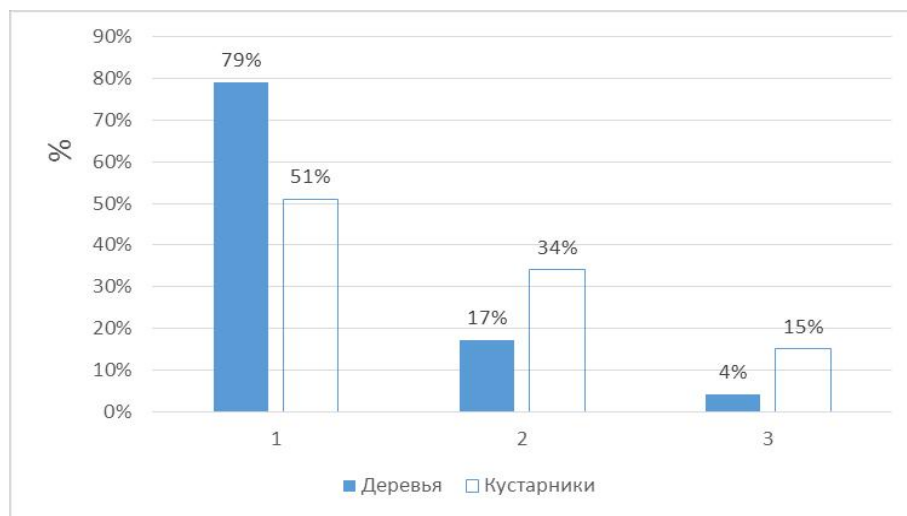


Рис. Категория жизнеспособности деревьев и кустарников искусственных насаждений города Кирово-Чепецка

У деревьев второй и третьей категорий было отмечено большое количество механических повреждений: деформация и наклонность ствола, многоствольность, наличие ран и язв. Например, 2 категория состояния выявлена у липы сердцевидной, имеющей обильную ржавчину на листьях. Среди всех изучаемых деревьев наибольшую ослабленность отмечали у клена ясенелистного (механические повреждения, большое количество наростов на стволах).

Среди кустарников было изучено 110 экземпляров туи (*Thuja* sp.), 41 экземпляр (6 м живой изгороди) калины (*Viburnum* sp.), 16,2 м пузыреплодника калинолистного (*Physocarpus opulifolius* (L.) Maxim.) и 7,4 м сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.). 51% кустарников относится к первой категории состояния, 34% – ко второй, 15% – к третьей категории (рис.). У изученных видов кустарников наблюдали следующие повреждения: некроз и измельчение листьев, усыхание концевых побегов. Наиболее ослабленной среди них является туя.

Коэффициент комплексной экологической оценки древесно-кустарниковых насаждений на 9 изучаемых объектах имеет следующие значения (табл.).

Таблица

**Коэффициент комплексной экологической оценки (ККЭО)
древесно-кустарниковых насаждений города Кирово-Чепецка**

Территория исследования	ККЭО
Улица Ленина	
Территория около художественной школы	1,013
Парковая зона	1,35
Аллея вблизи магазина «Магнит»	1,71
Насаждения около электромашиностроительного техникума	1
Насаждения около Центра культурного развития	1,4
Вятская набережная	
Аллея у Вечного огня	1,178
Посадки вдоль улиц	1,4
Проспект Кирова	
Насаждения вблизи Почта Банк	1,29
Улица Некрасова	
Насаждения у лица	1,43

Среднее значение коэффициента комплексной экологической оценки древесно-кустарниковых насаждений на 9 изучаемых объектах города Кирово-Чепецка составляет 1,3. Значение коэффициента отражает слабую нарушенность деревьев и кустарников, устойчивость к произрастанию в условиях селитебного ландшафта.

Библиографический список

1. Уфимцева М. Д. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. СПб. : Наука, 2005. 339 с.
2. Тарасова Н. П. Оценка воздействия промышленных предприятий на окружающую среду / под ред. Н. П. Тарасова. М. : Лаборатория знаний, 2017. 233 с.
3. Прянишников Д. Н. Азот в жизни растений и в земледелии СССР. Л. : Изд-во АН СССР, 1945. 197 с.
4. Фёдорова Н. Б. Методика оценки экологического состояния зеленых насаждений общего пользования Санкт-Петербурга. СПб. : Санкт Петербург, 2007. 75 с.

**РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ НА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ
АЛЛЮВИАЛЬНОЙ БОЛОТНОЙ ПОЧВЕ**

*А. А. Утомбаева, Э. Р. Зайнулгабидинов, А. М. Петров
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
semionova.alin@yandex.ru*

Изучено влияние содержания нефтепродуктов в технически рекультивированной аллювиальной болотной иловато-глеевой супесчаной и среднесуглинистой почвах на продуктивность зеленой биомассы и развитие корневой

системы высших растений. Показано, что нефтепродукты в почве стимулируют развитие корней, тормозят рост зеленой массы пшеницы. Горох посевной, в сравнении с пшеницей, менее устойчив к воздействию нефтепродуктов в аллювиальной болотной супесчаной и среднесуглинистой почвах.

Ключевые слова: нефтепродукты, аллювиальная болотная почва, урожайность, биомасса, пшеница, горох.

Разведка, добыча, транспортировка нефтяных углеводородов для удовлетворения растущего мирового спроса на ископаемое топливо наносят ущерб природе, загрязняя ее, особенно почву.

В настоящее время биологическая рекультивация рассматривается, как наиболее перспективное направление восстановления экологического состояния и плодородия почв. Относительно физико-химических способов, биологические методы рекультивации почв являются более дешевыми и эффективными, обеспечивают ускорение метаболизма и удаление из окружающей среды широкого спектра органических поллютантов, в том числе и нефтяных углеводородов.

Антропогенный пресс на окружающую среду приводит к активации механизмов адаптации растений к новым экологическим факторам. Нефтяное загрязнение влияет на морфологию растения, его развитие, при этом, наблюдается торможение роста стебля в высоту, уменьшается его радиальный рост. При антропогенном воздействии корневая система наиболее сильно подвержена изменениям, вплоть до трансформации, например, из мочковатого типа в стержневую. Изменение функционального состояния корневой системы, ее строения затрудняет процессы проникновения питательных веществ и воды в растения, ослабляет фотосинтетическую активность, приводит к временному или фатальному увяданию. В условиях нефтяного загрязнения не развиваются клубеньковые бактерии, что нарушает обеспечение растений доступными формами азота и, соответственно, также влияет на их продуктивность [1].

Показатели изменения линейного роста и биомассы растений применяются при выяснении уровня загрязнения почвы нефтью и устойчивости культурных растений к негативным факторам [2]. Изучение ответной реакции растений на действие разных доз нефти позволяет в дальнейшем использовать полученные результаты при разработке методов эффективной фиторекультивации почв [3].

Цель исследований – изучить влияние содержания нефтепродуктов (НП) в технически рекультивированной аллювиальной болотной почве различного гранулометрического состава на продуктивность зеленой биомассы и развитие корневой системы высших растений.

В качестве тест-объектов были использованы два вида растений: односемядольное – пшеница яровая (*Triticum vulgare* L.) сорта «Йолдыз» и двусемядольное – горох посевной (*Pisum sativum* L.) сорта «Казанец». Всхожесть семян составляла 96%.

Эксперименты по определению фитотоксичности включали несколько опытных вариантов с различным остаточным содержанием НП (варианты В1–В4) в условно рекультивированных образцах аллювиальной болотной иловато-глеевой супесчаной (АБ сп) и среднесуглинистой (АБ сс) почвы Республики Татарстан. Опытные образцы почвы предварительно были загрязнены сернистой нефтью Ямашинского месторождения и в течение 6 месяцев выдержаны в условиях условной технической рекультивации. Контролем (К) служили образцы чистых почв.

Лабораторно-вегетационные опыты проводили согласно ГОСТ Р ИСО 22030-2009 [4], при температуре окружающего воздуха 19–26 °С. Влажность почвенных образцов поддерживалась на уровне 60% от полной влагоемкости. Зеленую массу и биомассу корней растений определяли на 42 сутки вегетационного эксперимента [5].

Остаточное содержание НП в почве после технической рекультивации (табл.) определяли сопоставлением потерь массы при прокаливании образцов чистых и загрязненных нефтью почв [6]. Результаты статистически обработаны в программах MS Excel.

Таблица

Остаточное содержание НП в аллювиальных почвах

Тип почвы	Содержание НП, г/кг				
	К	В1	В2	В3	В4
АБ сп	0	3,9±0,23	8,1±0,23	13,8±0,68	23,0±0,46
АБ сс	0	5,0±0,61	11,7±0,82	14,9±0,56	25,0±0,67

Результаты проведенного эксперимента показали, что в присутствии поллютанта в опытных вариантах наблюдается ингибирование роста растений. Снижение урожайности зеленой биомассы пшеницы в вариантах с максимальным содержанием НП (В4) составило на среднесуглинистой почве – 50%, на супесчаной – 58% (рис. 1). Адаптационные процессы привели к активному развитию корневой системы пшеницы. Явная стимуляция их развития относительно контроля наблюдалась на среднесуглинистой почве, в вариантах, содержавших 11,7 г/кг; 14,9 г/кг и 25,0 г/кг НП (в 2,4; в 3,6 и в 2 раза, соответственно). В супесчаной почве достоверная стимуляция роста корней наблюдалась в вариантах, содержавших 3,9 и 13,8 г/кг НП (в 2,5 и 1,8 раза, соответственно).

В отличие от пшеницы, в хроническом эксперименте с горохом во всех опытных вариантах было выявлено ингибирование роста и корней, и зеленой массы (рис. 2). Достоверное снижение массы корней наблюдалось в супесчаной почве при содержании НП 3,9 г/кг–13,8 г/кг в 4,2–2,6 раза относительно контроля ($p < 0,05$). На среднесуглинистой почве при увеличении содержания поллютанта наблюдалось 1,3–1,5-кратное снижение массы корней. Что касается урожайности зеленой массы гороха, то, в опытных образцах среднесуглинистой почвы она была на 29–50%, в супесчаной на 29–40% ниже, чем в контроле.

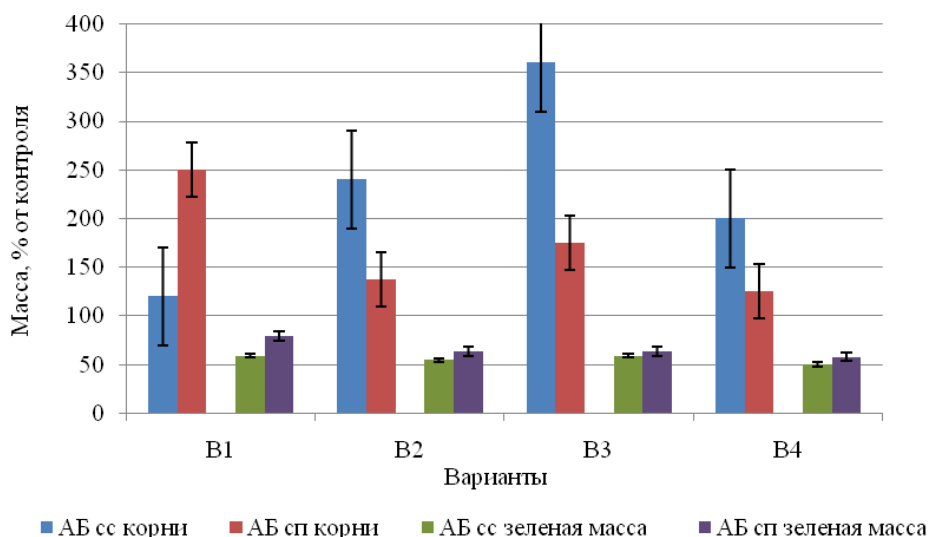


Рис. 1. Масса корней и урожайность сухой зеленой массы пшеницы, выросшей на нефтезагрязненной аллювиальной болотной почве

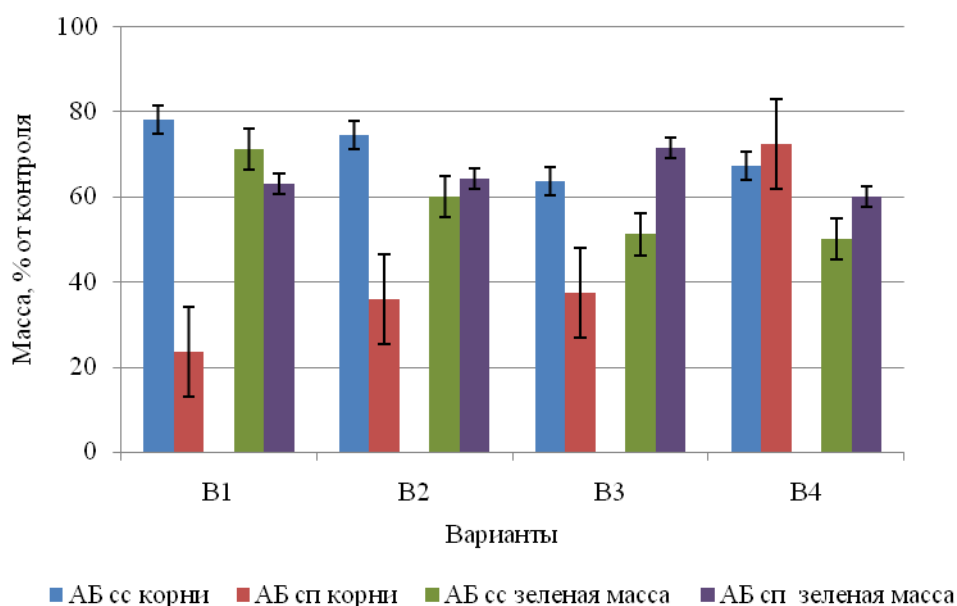


Рис. 2. Масса корней и урожайность сухой зеленой массы гороха, выросшего на нефтезагрязненной аллювиальной болотной почве

Результаты показывают, что НП в технически рекультивированной аллювиальной болотной иловато-глеевой супесчаной и среднесуглинистой почве стимулируют развитие корневой системы пшеницы, при снижении продуктивности зеленой массы этого однодольного растения. Двудольное растение оказалось менее устойчивым к отрицательному действию испытанных концентраций НП в аллювиальной болотной супесчаной и среднесуглинистой почве.

Библиографический список

1. Мазунина Л. Е. Особенности анатомии и морфологии высших растений в условиях нефтяного загрязнения // Вестник Нижневартковского государственного гуманитарного университета. 2009. № 1. С. 16–18.
2. Оценка фитотоксичности серых лесных почв в условиях нефтяного загрязнения / Т. Г. Кольцова, Б. Р. Григорьян, Л. М. Сунгатуллина, А. М. Петров, В. Н. Башкиров // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19, № 18. С. 185–191.
3. Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах для земель лесного фонда Республики Татарстан / А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов, Р. Р. Шагидуллин, Д. В. Иванов, Т. В. Кузнецова, Л. К. Каримуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 20. С. 265–270.
4. ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений».
5. Влияние концентрации нефтепродуктов в рекультивированных аллювиальных луговых почвах на содержание сухого вещества в высших растениях/ А. А. Утомбаева, А. М. Петров, Т. В. Кузнецова, Э. Р. Зайнулгабидинов // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XV Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. Киров : ВятГУ, 2020. Книга 1. С. 234–236.
6. Игнатъев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Применение метода прокалывания для определения содержания аллохтонных углеводов нефти в серых лесных почвах // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 3. С. 34–37.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ К ПОВЫШЕННЫМ КОНЦЕНТРАЦИЯМ МАРГАНЦА

О. А. Симонова

ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, simolga07@gmail.com

В работе представлено исследование устойчивости разных сортов ячменя к ионам Mn(II) по следующим показателям: накопление элемента в побегах, сухая масса побегов и их антиоксидантная активность (АОА). Исследования проводили в водной культуре, марганец вносили в виде соли $MnSO_4 \times H_2O$ в концентрациях 30, 60 и 90 мг/л. Содержание элемента в корнях определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре, а АОА – на спектрофотометре UVmini-1240. Выявлено, что наиболее устойчивым по параметру АОА оказался сорт Фермер, а по накоплению Mn в побегах – сорта 346–09 и 29–11.

Ключевые слова: сорт, доза, ионы марганца(II), побег, сухая масса, антиоксидантная активность.

Тяжелые металлы (ТМ) оказывают немаловажное влияние на рост и развитие растений. С одной стороны, в небольших количествах большинство из них являются необходимыми для нормальной жизнедеятельности растений. С другой стороны, в избыточных концентрациях элементы могут оказывать отрицательное влияние на их развитие. Одним из них является и марганец, содержание двухвалентных, доступных для растений форм которого в

кислых подзолистых и дерново-подзолистых почвах может быть избыточным для растений [1].

Растения обладают различными механизмами защиты от воздействия стрессовых факторов. Первым барьером на пути транспорта ионов металлов из почвы в растение являются корни, поэтому именно они берут на себя основную функцию по аккумуляции и детоксикации ТМ [2]. Тем не менее, элементы поступают и в надземные органы растений. При этом способность к накоплению ТМ отличается не только у разных видов растений, но и сортов и генотипов. Известно, что накапливаясь в большом количестве в растениях, ТМ оказывают негативное влияние на рост, развитие и другие физиологические процессы у злаков [3, 4].

Использование только одного показателя для оценки уровня устойчивости растений к стрессору не может в полной мере отразить общую реакцию растения на стресс. Негативное действие тяжелых металлов проявляется в угнетении роста надземной части растений [5]. Разработано множество показателей развития надземной массы растений, используемой в селекции на устойчивость к стрессовым воздействиям [6, 7]. К ним относятся, в том числе, и биомасса. Кроме того, неблагоприятные факторы могут способствовать развитию окислительного стресса в растениях и, как следствие, изменению антиоксидантной активности.

Объектами исследования служили растения ячменя сортов: Белгородский 100; 346–09; 29–11; Фермер; Форвард; Бионик из рабочей коллекции лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

Ячмень выращивали на питательном растворе Кнопа ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - 1$; $\text{K}_3\text{PO}_4 - 0,25$; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O} - 0,25$; $\text{KCl} - 0,125$ г на 1 л. воды) – в течение 14-и суток в естественных условиях. Семена ячменя в количестве 33 штуки помещали в рулоны из фильтровальной бумаги в 3-х кратной повторности. Марганец вносили в питательную среду в виде соли $\text{MnSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ в концентрации 30, 60 и 90 мг/л действующего вещества (д. в.). Контрольным фоном служил раствор Кнопа без добавления соли марганца(II).

Выбор концентраций ионов марганца(II) был обусловлен тем, что предельно допустимые концентрации (ПДК) подвижных соединений марганца (извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером с $\text{pH}=4,8$) для дерново-подзолистых почв с $\text{pH}=4,0$ в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06 составляет 60 мг/кг. Вносимые дозы марганца соответствовали 0,5; 1 и 1,5 ПДК.

Содержание марганца определяли в побегах растений ячменя на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Для подготовки проб растений сначала проводили их минерализацию методом сухого озоления по ГОСТ 26657-97. Зола смачивали несколькими каплями дистиллированной воды, затем к золе прибавляли по $7,5 \text{ см}^3$ азотной кислоты разбавленной (HNO_3) (1:1) и нагревали на электроплитке до кипения. Содержимое тигля фильтровали в мерную колбу вместимостью 50 см^3 , доводя объем раствора до метки.

Для определения АОА фермента супероксиддисмутаза (СОД) навеску

растительного образца (0,2–1,0 г сырой массы) растирали в 10 мл бикарбонатного буфера (pH = 10,30–10,65). Полученный раствор фильтровали и добавляли 0,1 мл 0,1%-го раствора адреналина гидрохлорида. Оптическую плотность определяли на спектрофотометре UVmini-1240 при длине волны 347 нм через 2 ч.

Согласно полученным данным, содержание марганца в побегах растений исследуемых сортов ячменя в контрольном варианте варьировало от 6,7 до 61,9 мг/кг (табл.).

Добавление ионов марганца(II) в среду выращивания привело к увеличению его накопления в побегах. Тем не менее, в целом полученные значения несколько меньше значений, приводимых другими исследователями. Например, при добавлении 41,3 мг/л марганца(II) в питательный раствор его накопление в побегах разных сортов пшеницы варьировало от 883 до 2887 мг/кг [8]. В растениях райграса его значение составило 902 и 2357 мг/кг в соответствии с дозой элемента в среде выращивания 8,3 и 19,5 мг/л [9]. В наших исследованиях наибольшее количество марганца в надземной части растений было зафиксировано у сортов 346–09 и 29–11. По литературным данным, чувствительные к марганцу сорта некоторых культур содержат более низкие концентрации элемента в листьях и побегах, чем устойчивые [8, 10]. Например, признаки сильной марганцевой токсичности у пшеницы сорта Горьковская визуально наблюдаются уже при содержании марганца в соломе 249 мг/кг. В то же время пшеница сорта Жак–24 токсическое воздействие марганца испытывала при содержании марганца 423 мг/кг [11].

Таблица

Накопление марганца в побегах растений ячменя и его влияние на сухую массу и антиоксидантную активность

Сорт	Mn ²⁺ , мг/л	Содержание Mn в побегах, мг/кг	Сухая масса побегов, г	Антиоксидантная активность	
				Побеги, %	% к контролю
1	2	3	4	5	6
Белгородский 100	0	41,94	0,156±0,0070	92,5±2,6	
	30	345,58	0,181±0,0073*	98,4±0,1*	106,3
	60	771,05	0,200±0,0138*	98,3±0,4*	106,2
	90	1240,26	0,207±0,0132*	98,4±0,7*	106,4
346–09	0	20,00	0,169±0,0120	91,9±1,1	
	30	1284,21	0,177±0,0109	96,8±0,2*	105,3
	60	2364,53	0,172±0,0084	98,3±0,4*	106,9
	90	2124,89	0,187±0,0245	98,4±0,1*	107,1
Форвард	0	51,03	0,153±0,0158	80,0±4,8	
	30	336,14	0,142±0,0048	81,2±2,7	101,5
	60	952,77	0,129±0,0023	80,8±5,6	101,0
	90	1008,32	0,144±0,0134	73,0±8,7	91,2
Фермер	0	61,89	0,143±0,0071	66,7±7,9	
	30	383,76	0,151±0,0026	80,7±0,5*	121,0
	60	1287,46	0,155±0,0067	85,6±1,4*	128,2
	90	1986,12	0,152±0,0156	83,8±0,6*	125,6

1	2	3	4	5	6
29–11	0	6,76	0,120±0,0116	85,1±2,9	
	30	646,58	0,125±0,0142	89,9±2,4	105,7
	60	1244,36	0,133±0,0084	91,8±1,3*	107,8
	90	2223,31	0,134±0,0008*	92,6±0,3*	108,8
Бионик	0	6,65	0,121±0,0122	88,1±1,4	
	30	895,71	0,116±0,0085	91,4±1,5*	103,7
	60	1618,38	0,126±0,0093	92,1±1,4*	104,6
	90	1827,96	0,139±0,0166	93,3±0,5*	106,0

Примечание: * значения в опыте достоверно отличаются от таковых в контроле.

Как было сказано выше, для оценки устойчивости растений к стрессовым факторам следует принимать во внимание также изменение морфометрических и физиологических параметров. В наших исследованиях сухая масса побегов увеличилась только у двух сортов: Белгородский 100 при всех внесенных дозах марганца и 29–11 при концентрации ионов Mn(II) в растворе 90 мг/л (табл.). У остальных сортов данное значение достоверно не отличается от контроля. В ходе исследования влияния марганца на антиоксидантную активность СОД в побегах проростков ячменя исследуемых сортов ячменя фиксировали ее более высокие значения в опыте, по сравнению с контролем (табл.). Зависимости между значениями АОА СОД в побегах проростков и дозой марганца не было установлено. Полученные данные согласуются с результатами других исследователей, согласно которым активность антиоксидантных ферментов в присутствии ТМ, как правило, увеличивается, что способствует повышению уровня АОА, и практически не зависит от концентрации металла [12]. Из спектра исследованных сортов отличался Форвард, для которого отмечали отсутствие достоверного влияния марганца на уровень АОА СОД в побегах. Наибольшее изменение уровня АОА СОД во всех вариантах опыта по сравнению с контролем (121,0–128,2%) было выявлено у сорта Фермер. Большинство исследователей считают, что более устойчивые к стрессовому воздействию виды (сорта, генотипы) отличаются большей активностью антиоксидантных ферментов [13, 14].

Таким образом, по показателям сухая масса побегов и антиоксидантная активность СОД все исследованные сорта оказались устойчивыми. Сухая масса побегов у большинства сортов не изменилась по сравнению с контролем. Исключение составили сорта Белгородский 100 и 29–11, у которых она увеличилась. АОА СОД, напротив, повысилась у большинства исследованных сортов. Данное повышение свидетельствует об активации защитных механизмов растений в ответ на воздействие стрессового фактора. Исключение составил сорт Форвард, у которого АОА в вариантах с опытом по сравнению с контролем не изменилась. В то же время наиболее устойчивым по параметру АОА оказался сорт Фермер, у которого значение данного показателя увеличилось на 21,0–28,2 % по сравнению с контролем. Однако по накоплению Mn в побегах наиболее устойчивыми оказались сорта 346–09 и 29–11.

Библиографический список

1. Небольсин А. Н., Небольсина З. П. Теоретические основы известкования почв. СПб. : ЛНИИСХ, 2005. 252 с.
2. Нестерова А. Н. Действие тяжелых металлов на корни растений. Поступление свинца, кадмия и цинка в корни, локализация металлов и механизмы устойчивости растений // Биол. науки. 1989. № 9. С. 72–86.
3. Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Казнина Н. М. Влияние высоких концентраций кадмия на рост и развитие ячменя и овса на ранних этапах онтогенеза // Агрехимия. 2002. № 9. С. 61–65.
4. Реакция растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на раздельное и совместное действие низкой температуры и кадмия / Н. С. Репкина, В. В. Таланова, А. Ф. Титов, И. В. Букарева // Тр. КарНЦ РАН. Сер. Экспериментальная биология. 2014. № 5. С. 133–139.
5. Ernst W. H. O. Physiological and biochemical aspects of metal tolerance // Effects of air pollutants on plants / Ed. T.A. Mansfield. Cambridge : Cambridge University Press, 1976. P. 115–133.
6. The roots of a new green revolution / G. Den Herder, G. Van Isterdael, T. Beeckman, I. De Smet // Trends Plant Sci. 2010. Vol. 15. P. 600–607.
7. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments / A. M. Manschadi, J. Christopher, P. Devoil, G. L. Hammer // Funct. Plant Biol. 2006. Vol. 33. P. 823–837.
8. Variation of tolerance to manganese toxicity in Australian hexaploid wheat / H. Khabaz-Saberi, Z. Rengel, R. Wilson, L. Timothy Setter // J. Plant Nutr. Soil Sci. 2010. Vol. 173. P. 103–112.
9. Mn as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms / R. Millaleo, M. Reyes-Díaz, A. G. Ivanov, M. L. Mora, M. Alberdi // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2010. Vol. 10 (4). P. 476–494.
10. Molecular marker analysis of manganese toxicity tolerance in rice under greenhouse conditions / Y. X. Wang, P. Wu, Y. R. Wu, X. L. Yan // Plant Soil. 2002. Vol. 238. P. 227–233.
11. Литвинович А. В., Ковлева А. О., Павлова О. Ю. Влияние известкования на накопление марганца и железа растениями яровой пшеницы // Агрехимия. 2015. № 5. С. 61–68.
12. Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signaling / C. H. Foyer, H. Lopez-Delgado, J. F. Dat, I. M. Scott // Physiol. Plant. 1997. Vol. 100. P. 241–254.
13. Basu U., Good A. G., Taylor G. J. Transgenic *Brassica napus* plants overexpressing aluminium-induced mitochondrial manganese superoxide dismutase cDNA are resistant to aluminium // Plant Cell Environ. 2001. Vol. 24. P. 1269–1278.
14. Tang W., Charles T. M., Newton R. J. Overexpression of the pepper transcription factor CAPF1 in transgenic Virginia pine (*Pinus virginiana* Mill.) confers multiple stress tolerance and enhances organ growth // Plant Mol. Biol. 2005. Vol. 59. P. 603–617.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ ОКСАДИАЗОЛОНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА НА РАСТЕНИЯ КУКУРУЗЫ

А. А. Галкина¹, О. В. Игнатьева¹, А. С. Лукаткин¹, Н. В. Калганова²
¹ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им. Н. П. Огарева», *nasty.galkina98@yandex.ru*
² ФГБУН Институт элементоорганических соединений
им. А. Н. Несмеянова РАН

В статье описано влияние производных оксадиазолония при действии низко- и высокотемпературного стрессов на рост и интенсивность перекисного окисления липидов в растениях кукурузы. Показано негативное действие температурного стресса и положительное влияние мезоионных гетероциклов на растения. Эффективность зависела от концентрации препаратов.

Ключевые слова: кукуруза, мезоионные гетероциклы, неблагоприятная температура, рост, перекисное окисление липидов.

Погодно-климатические условия на Земле в последние годы становятся менее благоприятными для растений [1]. Температура регулирует все физиологические процессы в растении, но ее повышение выше критического или понижение ниже критического уровня на определенное время вызывает нежелательные и зачастую необратимые изменения в развитии и росте растений. Значительные температурные сдвиги вызывают изменения структуры биополимеров, скорости ферментативных реакций и всех физиологических процессов в растении [2]. В конечном итоге от температуры зависит выживаемость организмов, что можно видеть по географическому расселению видов [1].

Кукуруза – однолетняя культура, для лучшего роста которой необходимы разные температуры днем и ночью, а также в течение всего вегетационного периода. Оптимальная температура в течение дня колеблется от 25 до 33 °С, ночи – от 17 до 23 °С; средняя оптимальная температура для всего вегетационного периода составляет 20–22 °С. Лучше всего кукуруза прорастает при температуре 25–28 °С. Отклонения от оптимальной температуры, вызывающие температурный стресс, значительно снижают скорость роста и урожай зерна из-за снижения коэффициента завязывания семян и нарушения некоторых физиологических процессов. Минимальные и максимальные пороговые температуры на различных стадиях роста и развития кукурузы составляют от 6 до 10 °С и от 36 до 42 °С, соответственно [1, 3].

Для повышения термоустойчивости растений применяют различные способы, в том числе предварительную обработку регуляторами роста (РР). Экзогенные РР способны влиять на рост клеток и органогенез, стимулировать рост корней и побега, регулировать развитие, цветение, плодоношение и созревание плодов, регулировать покой и лежкость клубней, корнеплодов и лу-

ковиц, регулировать процессы старения и отмирания органов и выполнять многие другие функции [4]. С помощью обработки синтетическими или природными регуляторами роста можно снизить тяжесть стрессового воздействия на растения [5].

Особого внимания заслуживают новые препараты, обладающие рост-регулирующими и антистрессовыми свойствами. В Институте элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова разработан ряд соединений сиднониминов (представителей класса мезоионных гетероциклических соединений), которые являются экзогенными донорами молекул оксида азота (NO) и генераторами супероксидного анион-радикала. Некоторые из этих соединений проявляют выраженное влияние на рост и развитие растений, выступая в качестве стимуляторов роста или гербицидов, или антидотов гербицидов [6].

В связи с этим целью работы было изучение влияния новых производных оксадиазолония на молодые растения кукурузы при действии температурного стресса.

В качестве объектов исследования использовали семена и молодые растения кукурузы (*Zea mays* L.) гибрида Каскад 195 СВ [7]. Семена обрабатывали тремя регуляторами роста сиднониминового ряда: SI-20-01, SI-20-11, SI-20-12 в концентрациях 10^{-8} , 10^{-7} и 10^{-6} М/л в течение 5 ч. По истечении этого времени семена промывали и высаживали по 20 штук в сосуды с почвой (среднесуглинистый деградированный чернозем), после чего выращивали растения в течение 14 дней в факторостатируемых условиях: освещенность люминесцентными лампами около 2000 лк, фотопериод 16/8 ч (день/ночь), температура 24 °С. Далее сосуды с растениями разделяли на 3 группы и помещали на 24 ч в разные условия температуры: первая группа – 24 °С (контроль), вторая – 38 °С (повышенная температура), третья – 3 °С (пониженная положительная температура). Спустя сутки после температурного воздействия оценивали степень повреждения растений и площадь листовой поверхности, а также интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ).

Интенсивность ПОЛ в листьях кукурузы оценивали по накоплению продукта окисления малонового диальдегида (МДА) по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) по методике, приведенной в [8]. Оптическую плотность регистрировали на спектрофотометре UVmini-1240 при двух длинах волны – 532 нм и 600 нм. Количество МДА, содержащееся в листьях, рассчитывали в мкМ МДА/ г сырой массы с использованием коэффициента молярной экстинкции ($1,56 \times 10^5 \text{ см}^{-1} \text{ М}^{-1}$).

Опыты проводили 3 раза, в каждом определении использовали не менее 3 растений. Статистическую обработку результатов проводили по стандартным биометрическим методам. Достоверность различий с контролем определяли по t-критерию Стьюдента при $P = 0,05$.

В результате воздействия неблагоприятных температур на молодые растения кукурузы было отмечено довольно существенное повреждение надземной части, которое выражалось в завядании листьев, подсыхании краев и верхушек листовых пластинок, потере тургора, и в целом растения выгля-

дели в разной степени понижены. Растения, которые были помещены в условия повышенных температур, имели сходную тенденцию к пожелтению листовых пластинок в области листового влагалища и центральной жилки в разной степени выраженности.

В растениях, выросших из семян, предварительно обработанных РР – производными оксадиазолония, замечены снижение степени повреждения (после обработки некоторыми концентрациями), а также тенденция к увеличению площади листовой поверхности по сравнению с контролем. Особенно эти эффекты были выражены при обработке семян препаратами SI-20-11 (в вариантах с действием пониженных температур) и SI-20-01 (после повышенных температур). При обработке семян препаратом SI-20-12 не наблюдали достоверных различий с водным контролем.

Одним из наиболее важных биохимических процессов повреждения клеток, проходящего с участием температурного стресса, служит ПОЛ. Оно индуцируется избыточным количеством активных форм кислорода (АФК) – супероксидного анион-радикала (O_2^-), гидроксильного радикала (OH^*), перекиси водорода (H_2O_2). Основные генераторы АФК – хлоропласты и митохондрии, а также пероксисомы. Главная опасность процессов ПОЛ для растений заключается в возможности полной утраты мембранами клеток барьерной функции [9].

В ходе исследования было выявлено, что у молодых гибридов кукурузы после температурного стресса интенсивность ПОЛ варьировала (рис.).

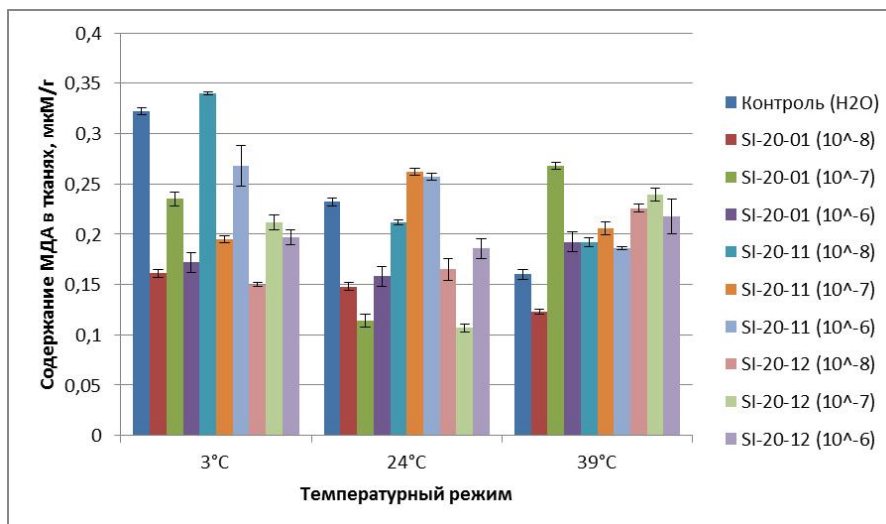


Рис. Влияние температуры и воздействия сиднониминных регуляторов роста на содержание МДА в тканях растений кукурузы

Как видно из данных по влиянию температурной экспозиции на молодые растения кукурузы, практически все обработки сиднониминами приводили к снижению уровня ТБК-реагирующих соединений в листьях кукурузы, подвергнутых воздействию экстремальных температур (как высоких, так и низких) по сравнению с оптимальной температурой. Так, после действия пониженных температур содержание МДА в тканях растений было ниже почти

во всех вариантах обработки регуляторами роста (за исключением SI-20-11 в концентрации 10^{-8} М/л). После повышенной температуры эффективность препаратов была ниже, положительное действие на интенсивность ПОЛ в листьях кукурузы оказал препарат SI-20-01 в концентрации 10^{-8} М/л.

Таким образом, несмотря на то, что производные оксадиазолония не всегда действовали как стимуляторы роста, их влияние на растения кукурузы было положительным для перенесения неблагоприятных температурных периодов. Сиднониминины оказали положительное влияние на растения кукурузы, снижая тяжесть температурного стресса.

Библиографический список

1. Thermal stresses in maize: effects and management strategies / M. A. Waqas, X. Wang, S. A. Zafar, M. A. Noor, H. A. Hussain // *Plants*. 2021. Vol. 10, №. 2. Art. 293. doi: 10.3390/plants10020293
2. Лукаткин А. С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2002. 208 с.
3. Циков В. С. Кукуруза: технология, гибриды, семена. Днепропетровск : Зоря, 2003. 296 с.
4. Физиология растений : учебник для студ. вузов / Н. Д. Алехина, Ю. В. Балнокин, В. Ф. Гавриленко [и др.]; под ред И. П. Ермакова. М. : Академия, 2005. 640 с.
5. Колмыкова Т. С., Лукаткин А. С. Эффективность регуляторов роста растений при действии абиотических стрессовых факторов // *Агрехимия*. 2012. № 1. С. 83–94.
6. Ростстимулирующая активность производных сиднонимина / И. А. Черепанов, Ю. Я. Спиридонов, О. А. Чичварина, А. С. Самарская, А. Б. Пономарев, С. К. Моисеев // *Агрехимия*. 2018. № 9. С. 50–55. doi: 10.1134/S0002188118090053
7. Кукуруза гибрид Каскад 195 СВ [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.apk-kolos.ru/kukuruza/c567.html> (дата обращения: 20.03.2022).
8. Большой практикум по ботанике, физиологии и экологии растений / А. С. Лукаткин, Д. И. Башмаков, Э. Ш. Шаркаева и др. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 332 с.
9. Петухов А. С., Хритохин Н. А., Петухова Г. А. Перекисное окисление липидов в клетках растений в условиях городской среды // *Вестник РУДН*. 2018. Т. 26, № 1. С. 82–90. doi 10.22363/2313-2310-2018-26-1-82-90

ВЛИЯНИЕ СПИРТОВОГО ЭКСТРАКТА ИЗ ХВОИ СОСНЫ НА ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН И РОСТ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ

Е. А. Копосова¹, Е. Г. Ханжина¹, С. Ю. Огородникова^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет, stud115863@vyatsu.ru*

² *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, svetao_05@mail.ru*

Изучено влияние спиртового экстракта из хвои сосны обыкновенной на всхожесть семян и рост проростком ячменя. Выявлен ростстимулирующий эффект хвойных экстрактов, который максимально проявился в опыте с длительным действием испытуемых растворов. Спиртовые экстракты из хвои сосны в большей степени стимулировали рост корней, побеги были менее чувствительны к действию экстрактивных веществ.

Ключевые слова: хвоя сосны, спиртовой экстракт, ячмень, всхожесть семян, рост проростков.

Хвоя имеет богатый состав биологически активных веществ: дубильные вещества, эфирные масла (альдегиды, дитерпены, катоны, сесквитерпены, сульфиды, сложные эфиры, терпеновые углеводы, фенолы), минеральные соли, витамины К, Е, С, каротиноиды, полипренолы, аскорбиновая кислота [1–3]. Скипидар, который получают из смол хвойных деревьев, используют как эфирное масло, обладающее противовоспалительным, антисептическим действиями, при приеме внутрь, также его наносят на поверхности кожи для заживления ран [3]. Хвоя сосны имеет большое применение в медицине и в сфере садоводства. Например, хвойный экстракт сосны используют для лечебных ванн при нервных и сердечно-сосудистых заболеваниях, получают витаминный напиток с большим содержанием витамина С для поддержания иммунитета [4]. Из хвойного экстракта производят препарат «ЭкстраФлор», который стимулирует рост растений, ускоряет цветение и созревание плодов, повышает урожайность и защищает растения от вредителей. Помимо экстрактов из хвои сосны производят хлорофиллокаротиновую пасту, которая лечит ожоги и различные кожные заболевания, из нее получают хлорофиллин натрия для лечения и профилактики заболеваний полости рта [4]. В ходе рубки лесов образуются значительные объемы отходов древесной зелени, которая является ценным сырьем для получения биологически активных веществ.

Целью работы было изучение влияния спиртового экстракта из хвои сосны обыкновенной на всхожесть семян и рост проростков ячменя.

Для приготовления спиртового экстракта использовали экстрактор Сокслета. В него помещали 50 г свежей хвои сосны обыкновенной и этиловый спирт объемом 150 мл. Экстракцию проводили в течение 1,5 часов.

Опыты по изучению биологической активности спиртового экстракта из хвои сосны проводили на растениях ячменя двурядного сорта Новичок (*Hordeum distichum* L.). Семена проращивали в чашках Петри, по 50 штук в каждой. Повторность опыта – трехкратная. Изучали всхожесть семян и показатели линейного роста проростков на 7 сутки опыта. Индекс роста рассчитывали по формуле:

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

где I – индекс роста, R – среднее значение длины корней (мм), P – среднее значение длины проростков (мм), D – доля проросших семян.

Проведены две серии опытов, которые отличались длительностью обработки семян испытуемыми растворами. В первой серии опытов семена замачивали сутки в растворах, приготовленных из экстрактов хвои сосны в соотношении (экстракт : вода) – 1:10, 1:50, 1:100, 1:5 и чистый экстракт, контроль – дистиллированная вода. Далее семена поливали дистиллированной водой.

Во второй серии опытов семена проращивали и поливали в течение 7 дней растворами, приготовленными из спиртовых экстрактов хвои сосны в

соотношении (экстракт : вода) – 1:10, 1:50, 1:100. Растения контрольного варианта выращивали на дистиллированной воде.

Кратковременное действие спиртовых экстрактов из хвои сосны (первая серия опытов) оказывало влияние на прорастание семян (рис. 1). На 2 сутки опыта максимальное число проросших семян отмечено в вариантах со значительно разбавленными экстрактами (Э 1:100, Э 1:50, Э 1:10). В вариантах с действием растворов с высокой концентрацией (неразбавленный экстракт и экстракт, разбавленный в соотношении 1:5) количество проросших семян было ниже и близко к контролю. На 7 сутки опыта различие по показателю всхожести между вариантами опыта нивелировалось. Только в варианте с разбавлением 1:5 всхожесть семян была ниже контрольного варианта на 12%.

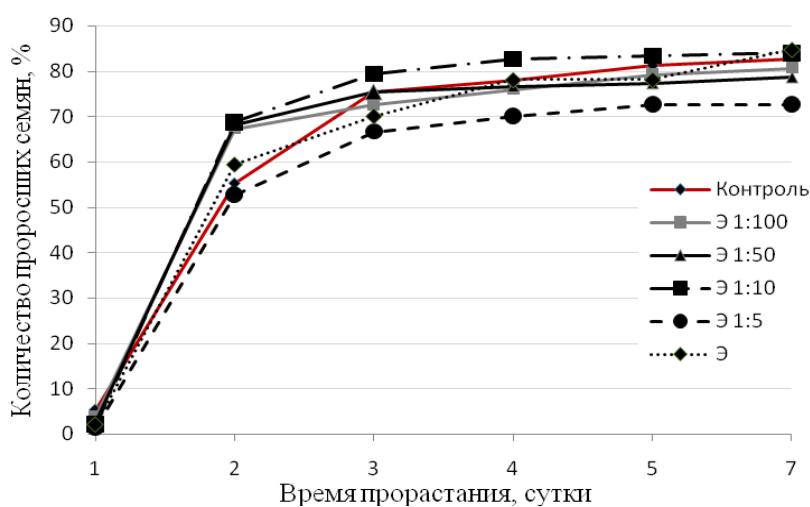


Рис. 1. Динамика прорастания семян ячменя при кратковременной инкубации (1 сут.) в экстрактах из хвои сосны в разных разбавлениях

Длительное действие экстрактов (вторая серия опытов) не оказывало существенного влияния на всхожесть семян ячменя (рис. 2).

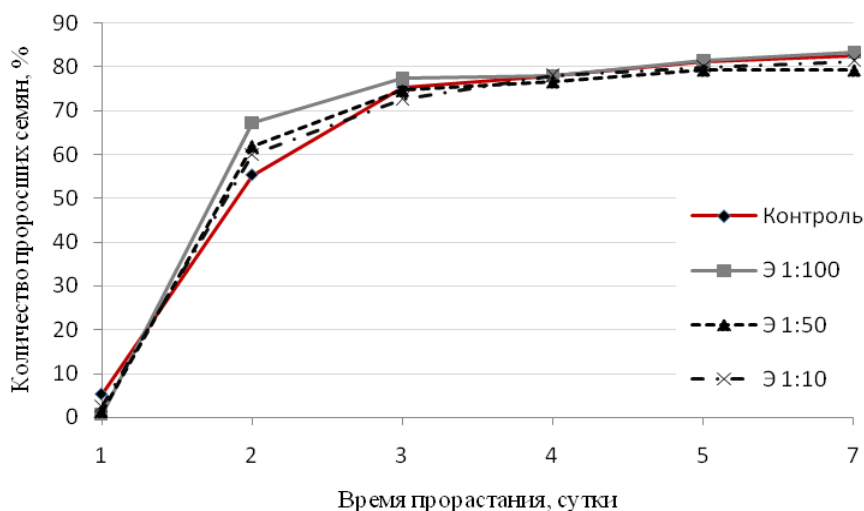


Рис. 2. Динамика прорастания семян ячменя при длительной инкубации (7 сут.) в экстрактах из хвои сосны в разных разбавлениях

Хвойные экстракты оказывали ростстимулирующее действие на проростки ячменя (рис. 3). В большей степени ростактивирующее влияние проявилось в опыте с длительным действием испытуемых веществ (вторая серия опытов). Отмечали значимые различия показателей линейного роста у ячменя, выращенного на разбавленных экстрактах (1:50, 1:100), по сравнению с растениями контрольного варианта (рис. 3Б). Длина корней ячменя, выращенного на экстрактах, разбавленных 1:100 и 1:50, была больше 23% и 36%, по сравнению с контрольными растениями.

Независимо от длительности инкубации, хвойные экстракты в большей степени стимулировали рост корней, побеги были менее чувствительны к обработке. В опытах наибольшее ростактивирующее действие оказывали разбавленные экстракты (1:100 и 1:50), неразбавленный экстракт был менее эффективным.

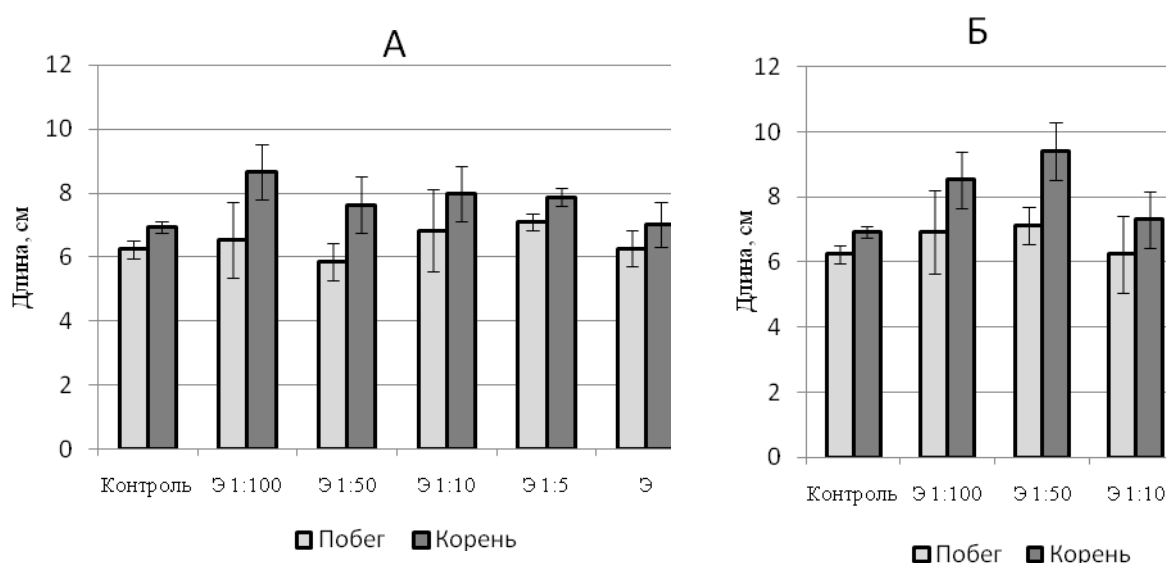


Рис. 3. Влияние экстракта из хвои сосны на показатели линейного роста ячменя при кратковременном (А) и длительном действии (Б)

Интегральным показателем, учитывающим всхожесть семян и линейный рост растений, является индекс роста. Установлено, что значение индекса выше в вариантах с длительным действием хвойных экстрактов (вторая серия опытов), и с увеличением разбавления эффект усиливается (табл.).

Таблица

Влияние спиртового экстракта из хвои сосны на индекс роста проростков ячменя

Вариант	Контроль	Разбавление экстракта (экстракт : вода)				Экстракт
		1:100	1:50	1:10	1:5	
Кратковременное действие (опыт 1)	1090	1226	1059	1244	1088	1124
Длительное действие (опыт 2)	1090	1288	1313	1103	—	—

Примечание: прочерк – нет данных.

В ходе наблюдений отмечено, что длительное действие хвойных экстрактов (вторая серия опытов) уменьшает пораженность семян плесенью, такое же действие оказывают неразбавленный и слабо разбавленный экстракты (Э 1:5) (первая серия опытов).

Таким образом, спиртовой экстракт из хвои сосны оказывает положительное влияние на рост проростков ячменя. В большей степени ростоактивирующее влияние хвойных экстрактов проявилось в опыте с длительным действием испытуемых веществ, кратковременная инкубация семян на тестируемых растворах была менее эффективна. Спиртовые экстракты из хвои сосны в большей степени стимулировали рост корней, побеги были менее чувствительны к действию экстрактивных веществ.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги».

Библиографический список

1. Гужель Ю. А. Разработка технологии и товароведная оценка напитков брожения, полученных с добавлением экстракта хвои сосны обыкновенной : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15. Кемерово, 2014. 16 с.
2. Изучение элементного состава водных экстрактов хвойных растений Сибири / О. В. Иванова, Ю. Г. Любимова, В. А. Терещенко, Е. А. Иванов // Химия растительного сырья. 2021. № 3. С. 181–190. doi: 10.14258/jcprm.2021038714
3. Коноплева М. М., Дейденко И. Д. Поиск новых видов сырья сосны лесной // Вестник фармации. Фармакогнозия и ботаника. 2006. № 3 (33). С. 38–40.
4. Химическая и биологическая активность водных экстрактов лесных растений / Ю. П. Демаков, А. В. Исаев, В. И. Таланцев, О. В. Малюта // Вестник ПГТУ. 2015. № 2 (26). С. 57–78.

АДЬЮВАНТЫ ДЛЯ ФОЛИАРНОЙ ПОДКОРМКИ РАСТЕНИЙ КАРБАМИДОМ

К. И. Южанин¹, Н. В. Сырчина¹, С. Э. Большакова², И. А. Потапова¹

¹ *Вятский государственный университет, 0073158@mail.ru*

² *Санкт-Петербургский горный университет*

Изучено влияние различных неионогенных, анионоактивных и катионоактивных поверхностно-активных веществ на свойства 1% водных растворов карбамида. Установлено, что включение добавок Arquad 2С–75 и алкилбензолсульфокислоты приводит к существенному увеличению смачивающей способности растворов и снижению времени высыхания капель. Данные добавки могут найти применение в качестве адьювантов удобрений, используемых в закрытом грунте.

Ключевые слова: карбамид, жидкое удобрение, листовые удобрения, фолиарная подкормка, адьюванты.

Фолиарная (листовая) подкормка, считается одним из наиболее прогрессивных способов оптимизации минерального питания культурных растений. Соответствующий способ предполагает распыление растворов удобрений на вегетирующие растения с помощью специального оборудования. В большинстве случаев некорневая подкормка применяется в качестве дополнения к внесению питательных веществ в почву. К достоинствам метода можно отнести экономичность, высокую эффективность, возможность тонкого регулирования поступления действующих веществ в зависимости от актуальных потребностей растений, низкую химическую нагрузку на окружающую среду [1].

Повышению эффективности листовых удобрений (ЛУ) способствуют специальные добавки – сельскохозяйственные адьюванты (СА), позволяющие обеспечить равномерное смачивание листьев, снизить опасность скатывания капель удобрения с обработанных растений, улучшить проникновение действующих веществ через кутикулу, уменьшить снос капель ветром, продлить или сократить время высыхания капель [2].

Наиболее широко СА используются в странах, характеризующихся высокой культурой земледелия. Включение в состав ЛУ адьювантов позволяет существенно расширить линейку выпускаемой продукции, получаемой на основе весьма ограниченного набора базовых минеральных удобрений и микроэлементов, а также адаптировать удобрения к актуальным потребностям аграрного сектора.

Согласно прогнозам Fortune Business Insights, в 2026 г. объем рынка адьювантов для агрохимикатов достигнет 4,55 млрд долларов США. Доминирующее положение на соответствующем рынке занимают страны Европы и Северной Америки [3]. Производители агрохимикатов в РФ чаще всего импортируют СА из других стран, что приводит к существенному удорожанию выпускаемой продукции. В этом отношении исследования, направленные на поиск экологически безопасных соединений, пригодных для использования в качестве СА, представляют большой практический интерес.

Цель работы заключалась в оценке возможности использования различных поверхностно-активных веществ (ПАВ) в качестве адьювантов для растворов карбамида, применяемых для фолиарной подкормки.

Карбамид отличается высокой агрохимической эффективностью, идеально подходит для ЛУ и фертигации, считается одной из лучших форм азотных удобрений для некорневых подкормок растений, поскольку не обжигает листья и быстро поглощается листовой поверхностью. Хорошо растворяется в воде с образованием практически нейтрального раствора. рН раствора с массовой долей карбамида 10% = 7,2. Совместим практически со всеми другими минеральными и органическими удобрениями.

Добавки исследуемых ПАВ вносили в 1% раствор карбамида в дозировке 1% от массы удобрения. Все растворы готовили на деионизированной воде. Эксперименты проводили в лабораторных условиях при температуре 24±2 °С. Влияние добавок на свойства карбамида оценивали по таким показателям

телям, как растекаемость капли ЛУ по гидрофобной поверхности; угол скатывания капли с гидрофобной поверхности; скорость высыхания капли; характер распределения сухого вещества по гидрофобной поверхности после высыхания капли, рН и плотность растворов, образование устойчивой пены при встряхивании раствора «карбамид+добавка». Для формирования капель применяли микродозатор. Для моделирования гидрофобной поверхности использовали полиэтиленовую пленку.

В качестве добавок изучали водные растворы следующих ПАВ: полоксамер 188 (неионогенное ПАВ), твин-80 (неионогенное ПАВ), Arquad 2С – 75 (катионактивное ПАВ), алкилбензолсульфокислота (анионактивное ПАВ), лаурет сульфонат Na (анионактивное ПАВ). Все исследуемые добавки при правильном использовании не представляют опасности для окружающей среды.

Эксперименты выполняли в 4-х повторностях. Полученные результаты статистически обрабатывали в программе «Microsoft Excel» по общепринятым методикам.

Результаты эксперимента (среднее значение показателя и среднее квадратическое отклонение) приведены в таблице.

Таблица

Влияние добавок на свойства 1% раствора карбамида

Добавка	Показатель				
	Угол скатывания капли, град. (объем капли 0,04 мл)	Средний диаметр капли, мм (объем капли 0,02 мл)	Время высыхания капли, мин	рН	Плотность, г/см ³ (при 20 °С)
Деионизованная вода (без добавок)	27,11±1,01	4,25±0,29	132,00±7,48	6,1±0,1	1,000
Карбамид, 1% раствор (без добавок)	26,32±1,48	4,05±0,10	136,75±11,30	6,6±0,1	1,011
Полоксамер	30,52±1,92	4,35±0,24	131,00±7,75	6,6±0,1	1,010
Твин-80	30,52±1,99	4,88±0,15	112,50±9,11	6,6±0,1	1,012
Arquad 2С-75	19,60±1,32	6,75±0,28	99,00±4,97	6,5±0,1	1,009
Алкилбензолсульфокислота (АБСК)	22,65±1,36	6,25±0,29	88,25±9,22	3,9±0,1	1,010
Лаурет сульфонат Na	28,79±1,66	4,95±0,64	101,75±5,12	6,8±0,1	1,012

Добавки всех изученных ПАВ при встряхивании растворов не вызывали сильного пенообразования. При высыхании капель на гидрофобной поверхности формировались утолщающиеся по краям пленки. Наиболее равномерные по толщине пленки образовывались при включении в раствор АБСК, однако эта добавка приводила к существенному снижению рН. Средний диаметр капель растворов «карбамид+добавка» коррелировал с временем высыхания капель (коэффициент корреляции: -0,88). Данный эффект свидетельствует о том, что изученные добавки не проявляли выраженных водоудерживающих свойств, и скорость высыхания в основном зависела от площади ис-

парения. Угол скатывания также отрицательно коррелировал со средним диаметром капель (коэффициент корреляции: $-0,78$), т. е. изученные добавки не приводили к заметному повышению адгезии (не проявляли свойств прилипателей). Основным механизмом действия изученных ПАВ заключался в снижении поверхностного натяжения растворов «карбамид+добавка», что приводило к увеличению площади смачивания и облегчало скатывание капель с гидрофобной поверхности.

Из всех изученных добавок наибольший интерес в качестве адъюванта может представлять Arquad 2С–75. Добавка этого вещества в раствор карбамида приводит к более равномерному смачиванию поверхности и быстрому высыханию капель. Площадь растекания капель увеличивается на 67%, время высыхания сокращается на 38%. Быстрое высыхание растений после фолитарной подкормки имеет особое значение для растениеводства в условиях защищенного грунта, поскольку позволяет снизить опасность быстрого распространения фитопатогенных грибов и бактерий. Аналогичный результат обеспечивает АБСК, однако для практического использования соответствующей добавки необходимо решить вопрос с обеспечением необходимого уровня рН растворов.

Библиографический список

1. Егоров В. С., Дзержинская А. А. Фолитарное применение удобрений и механизм их поступления в растения // Проблемы агрохимии и экологии. 2015. № 2. С. 51–57.
2. Южанин К. И., Сырчина Н. В. Оценка влияния адъювантов на технологические свойства удобрений для листовой подкормки // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2021. С. 260–264.
3. Agricultural Adjuvants Market Size, Share and Industry Analysis By Type (Activator Adjuvants, Utility Adjuvants, Others), By Application (Herbicides, Insecticides, Fungicides, Others), By Crop (Cereals, Oilseeds, Fruits & Vegetables, Other Crops), and Regional Forecast 2019–2026. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industryreports/agricultural-adjuvants-market-100769> (дата обращения: 06.03.21).

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МЕЛИССЕ ЛЕКАРСТВЕННОЙ

Е. А. Кислицына, П. И. Гуцина, А. И. Фокина
Вятский государственный университет,
elenakislicyna83863@gmail.com

В данной статье представлены результаты: валидации методики определения фенольных соединений в мелиссе лекарственной методом спектрофотометрии с реактивом Фолина-Чокальтеу; определения групп фенольных соединений качественными реакциями; изучения влияния удобрения «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ», субстрата выращивания и микромицета рода *Fusarium culmorum* на содержание фенольных соединений в мелиссе.

Ключевые слова: мелисса лекарственная, фенольные соединения, валидация, микромицеты.

Мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.) – растение семейства яснотковые, обладающее противовоспалительным, спазмолитическим, противовирусным, антимикробным действием. Данные свойства обусловлены множеством химических веществ, входящих в состав мелиссы. Основную ценность для человека имеют фенольные антиоксиданты [1] – вещества, нейтрализующие свободные радикалы [2]. В организме свободные радикалы накапливаются под действием радиационного и ультрафиолетового излучений, плохих условий окружающей среды и т. д. [3]. Чаще всего люди употребляют мелиссу в виде отвара или настоя. Содержание фенольных соединений (ФС) в растении зависит от типа субстрата, климата, освещенности [1]. Однако слабо изучен вопрос влияния удобрения «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ» (компания «Премьер-Арго», г. Москва) и фитопатогенного микромицета *Fusarium culmorum*, находящегося в грунте, для выращивания.

Поэтому целью работы стало изучить влияние удобрения «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ» и микромицета *F. culmorum* (коллекция Вятского государственного агротехнологического университета, г. Киров) на содержание фенольных соединений в мелиссе лекарственной.

Мелиссу сорта «Лимонный аромат» выращивали на двух разных субстратах (две серии): серия 1 – садовый грунт (Тоншаевский район Нижегородской области); серия 2 – торфсмесь (торфогрунт марки «Питательный универсальный», ООО «Фабрика грунтов», г. Екатеринбург). В качестве добавок в грунт использовали удобрение «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ» и суспензию фитопатогенного микромицета *F. culmorum*.

Варианты в каждой серии: К – контроль (субстрат без внесения добавок); F – субстрат + *F. culmorum*; У – субстрат + удобрение «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ»; У+F – субстрат + *F. culmorum* + удобрение «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+MЭ».

Растения обеих серий выращивали в течение двух месяцев при температуре 18 ± 2 °C под фитолампой, соблюдая режим смены дня и ночи (12 ч/12 ч). Для определения содержания ФС в листьях мелиссы лекарственной была валидирована методика определения ФС в прополисе [4]: навеску мелиссы массой 0,09 г кипятили в течение двух часов на водяной бане в 70%-ном спирте для получения экстракта. Затем с экстрактом проводили реакцию с реактивом Фолина-Чокальтеу и полученные растворы исследовали методом спектрофотометрии при $\lambda = 765$ нм [4].

В ходе валидации определены следующие характеристики методики: линейность (n=3 при пяти уровнях концентраций ФС), повторяемость (n=6) и правильность (три уровня концентраций, n=3 методом «введено-найдено»). Результаты валидации: линейность (зависимость оптической плотности от

содержания определяемого компонента) – $R=1,00$; повторяемость – относительное СКО при $P=0,95$ составило 11%; правильность – статистически достоверных различий между введенными и найденными количествами галловой кислоты не обнаружено. Значительная величина значения СКО (11%) обусловлена разнородностью исследуемого материала.

В результате определения ФС в образцах Melissa у установлено:

– в течение двух месяцев выращивания в листьях растений в среднем накопилось следующее количество ФС: на садовом грунте – $8,2 \pm 0,7$ мг/г, на торфсмеси – $4,4 \pm 0,8$ мг/г. Результаты эксперимента показали, что содержание ФС достаточно низкое в растениях обеих серий. Так, например, результаты проведенных ранее опытов по выращиванию Melissa в комнатных условиях показывают, что содержание ФС в двухмесячных растениях Melissa составило: при 21°C 7–24 мг галловой кислоты/г и при 29°C 50–94 мг галловой кислоты/г соответственно [5]. Данный факт может быть обусловлен как температурным режимом и освещенностью, так и химическим составом субстратов;

– установлено, что при равных физических факторах (температура, освещенность) огромное значение имел тип субстрата для выращивания. Садовый грунт представлял по механическому составу средний суглинок, торфогрунт – рыхлый субстрат с включением частично разложившихся растительных фрагментов. Садовый грунт существенно плотнее торфогрунта и беднее питательными элементами. В целом выращивание Melissa на садовом грунте (серия 1) привело к большему накоплению ФС в растениях, по сравнению с аналогичным на торфогрунте. Добавление микромицета (F1) и удобрения (У1) привело к снижению значений ФС, по сравнению с контролем (К1) в большей степени в варианте с внесением удобрения и микромицета (У1+F1). Содержание ФС в Melissa, выращенной на торфогрунте, несколько иное. Можно проследить определенные тенденции: снижение содержания ФС по сравнению с контролем (К2), содержание ФС значительно ниже, чем в аналогичных вариантах с использованием садового грунта (рис.).

Проведены качественные реакции на группы ФС, содержащихся в экстракте. Установлено наличие следующих групп:

– флавоноиды – флавоны, флавононы и флавонолы (желтое окрашивание в результате реакции с 10% раствором аммиака);

– халколоны и ауроны (желтый осадок в результате реакции с 1% раствором ацетата свинца(II));

– конденсированные дубильные вещества (зеленое окрашивание в результате реакции с 1% раствором железозаммонийных квасцов).

Аналогичные группы ФС были обнаружены в экстракте Melissa, выращенной в естественных условиях, и другими авторами [6]. Это может говорить о том, что в нашем исследовании не установлено влияния изучаемых факторов на групповой состав ФС.

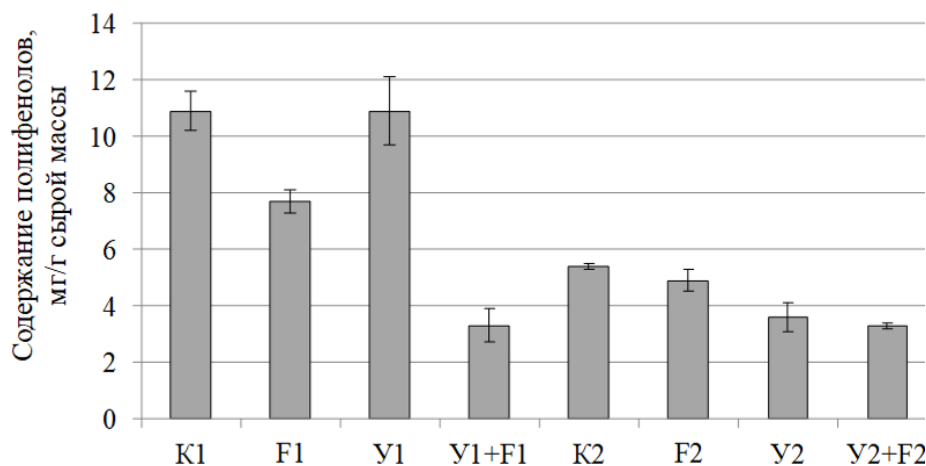


Рис. Содержание фенольных соединений в мелиссе лекарственной:
 К – контроль; F – *F. culmorum*; Y – удобрение «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+МЭ»; Y+F – *F. culmorum* + удобрение «УНИВЕРСАЛ – 18:18:18+3MgO+МЭ»; 1 – садовый грунт; 2 – торфсмесь

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Результаты валидации методики определения содержания ФС по следующим валидационным характеристикам: линейность, правильность и повторяемость подтвердили возможность ее использования для определения ФС в мелиссе. Однако, следует отметить достаточно высокое значение величины СКО (11%), что может быть вызвано разнородностью исследуемого материала.

2. Результаты качественного анализа полифенольных веществ, содержащихся в мелиссе, показали, что в экстракте содержатся группы ФС, встречающиеся в мелиссе, не подверженной во время выращивания влиянию изучаемых нами факторов.

3. С помощью валидированной методики определено содержание ФС в листьях мелиссы лекарственной, выращенной под влиянием различных факторов. Установлено, что присутствие патогенных микроорганизмов вызывает окислительный стресс, что, в свою очередь, приводит к накоплению ФС (защитная реакция растений при стрессе). Присутствие удобрения позволяет снизить окислительный стресс, вызванный выращиванием на «бедной» питательными элементами почве, что вызывает снижение стресса и накопление ФС. В дальнейшем следует изучить подробное влияние доз удобрения на содержание ФС в образцах, выращенных на разных типах грунта и при разной освещенности.

Библиографический список

1. Гребенникова О. А., Палий А. Е., Логвиненко Л. А. Биологически активные вещества мелиссы лекарственной // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. 2013. Том 26 (65). № 1. С. 43–50.
2. Нагорная Н. В., Четверик Н. А. Оксидативный стресс: влияние на организм человека, методы оценки. 2010. С. 6.
3. Пояркова Н. М., Сапарклычева С. Е. Физиологическая роль фенольных соединений // Аграрное образование и наука. 2019. № 4. С. 1–3.

4. ГОСТ Р 45588-2013 Прополис. Метод определения полифенолов. М.: Стандартинформ, 2020. 9 с.

5. Фокина А. И., Скугорева С. Г., Кислицына Е. А. Антиоксидантная система Melissa лекарственной в условиях контаминации субстратов выращивания микромицетом *Fusarium culmorum* // Микроорганизмы и плодородие почвы : материалы I Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Евгении Матвеевны Панкратовой. Киров : ВятГСХА, 2022. С. 146–151.

6. Сравнительное исследование Melissa лекарственной и шалфея лекарственного на содержание полифенолов / Е. И. Рябинина, Е. Е. Зотова, Н. И. Пономарева, С. В. Рябинин // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2009. № 2. С. 49–53.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В МИКРОЗЕЛЕНИ СОИ

А. С. Пакичев, Т. А. Адамович
Вятский государственный университет,
alexsandrpakichev2001@gmail.com

В статье приводятся результаты исследования по определению биологически активных веществ в микрозелени сои. Произведено количественное определение аскорбиновой кислоты, полифенольных соединений, флавоноидов и расчет антиокислительной активности. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о целесообразности использования микрозелени сои в качестве источника биологически активных веществ.

Ключевые слова: аскорбиновая кислота, флавоноиды, микрозелень, соя, полифенольные соединения, антиокислительная активность.

В последнее время люди все чаще задумываются о здоровом образе жизни и о правильном питании, проявляя интерес к продуктам (фруктам, овощам), содержащим высокое количество биологически активных веществ (БАВ). Однако в отношении некоторых видов фруктовых и овощных растений существует трудность их выращивания, а также наблюдается высокая стоимость, что привело потребителей к поиску альтернатив. Так, среди сторонников здорового питания микрозелень приобрела большую популярность в числе овощных и зеленых культур [1].

Микрозелень содержит большое количество БАВ, а именно, микро- и макроэлементов, витаминов, белков, каротиноидов (β -каротин, лютеин и зеаксантин), флавоноидов, полифенольных соединений и т. д. В настоящее время спрос на данные растительные продукты стремительно растет, а потребление увеличивается с учетом их особых характеристик: уникального цвета, богатого вкуса, широкого спектра аромата и заметного содержания необходимых БАВ [2].

Выращивание микрозелени является выгодным и легкодоступным способом получения БАВ. Преимуществом являются: отсутствие больших вре-

менных затрат (обычно от посева до сбора урожая проходит 5–12 дней), низкая стоимость, простота выращивания, малотребовательность к определенным условиям произрастания и многое другое [3].

Для выращивания и изучения микрозелени выбрана соя. Эта культура является самой распространенной среди зернобобовых, содержит большое количество БАВ. Она защищает от сердечнососудистых и онкологических заболеваний, болезней печени и поджелудочной железы. Употребление в пищу микрозелени сои нормализует обмен веществ, снижает уровень холестерина в крови и способствует выведению из организма токсинов [4–6].

Цель работы – определить содержание БАВ в микрозелени сои. Количественное определение аскорбиновой кислоты проводили с помощью метода Тильманса. Данный метод основан на экстрагировании аскорбиновой кислоты смесью уксусной и метафосфорной кислот с последующим титрованием окраской Тильманса до установления светло-розовой окраски [7].

Определения полифенольных соединений и флавоноидов проводили спектрофотометрическим методом. Метод определения полифенолов основан на реакции окисления полифенольных соединений водно-спиртового экстракта микрозелени сои реактивом Фолина-Чокальтеу и последующим фотометрированием образующейся «сини» при длине волны 765 нм. В качестве внутреннего стандарта используют галловую кислоту [8]. Метод определения флавоноидов основан на спектрофотометрическом определении оптической плотности комплексов, образующихся при взаимодействии флавоноидов с хлоридом алюминия, в качестве стандарта служит рутин [9].

Метод определения показателя антиокислительной активности основан на определении антиокислительной активности БАВ. Включает взаимодействие анализируемой пробы с перманганатом калия до обесцвечивания последнего в водной сернокислрой среде при комнатной температуре, отличающийся тем, что 0,05 Н раствор перманганата калия в 0,24 М растворе серной кислоты титруют раствором анализируемой пробы до обесцвечивания и расчет концентрации проводят в пересчете на кверцетин [10].

Результаты количественного определения БАВ в микрозелени сои представлены в таблице.

Таблица

**Результаты определения биологически активных веществ
в микрозелени сои**

Образец	Содержание аскорбиновой кислоты, %	Содержание полифенолов, мг/г	Содержание флавоноидов, %	Показатель АОА, мг/г
Микрозелень сои	0,027	11,5±2,9	0,0099±0,0025	12,5±3,1

В результате проведенных исследований установлено, что значение содержания аскорбиновой кислоты (0,027%) и флавоноидов (0,0099±0,0025%) являются относительно невысокими.

В литературе приводятся данные по содержанию полифенольных соединений в проростках фасоли обыкновенной (6,25 мг/г). По результатам ра-

боты установлено, что содержание полифенолов в микрозелени сои составляет 11,5 мг/г, что превышает в 1,84 раза их содержание в проростках фасоли. Данный факт говорит о том, что микрозелень сои является ценным источником полифенольных соединений.

Антиоксидантная активность зависит от содержания в образце свободных полифенольных соединений, которые способны связывать свободные радикалы, подавляя окислительный стресс. В литературе приведены данные об антиоксидантной активности свежевыжатых пророщенных семян некоторых бобовых культур [11]. Наибольшим содержанием антиоксидантов отличается фасоль (8,4 мг/г), т. е. по сравнению с другими культурами микрозелень сои проявляет достаточно высокую антиоксидантную активность (12,5 мг/г).

Таким образом, микрозелень сои является перспективным продуктом питания с высоким содержанием БАВ, что позволяет рекомендовать ее для извлечения и промышленного получения лечебных препаратов, а также производства БАД и создания физиологически функциональных продуктов питания.

Библиографический список

1. Ebert A. Sprouts, microgreens and edible flowers: the potential for high value specialty produce in Asia // Regional Symposium on High Value Vegetables in Southeast Asia: Production, Supply and Demand (SEAVEG2012). 2012. No. 12. P. 216–227.
2. Сравнительный анализ пищевой ценности семян, ростков и микрозелени растений *Linum usitatissimum* и *Salvia hispanica* / Л. А. Надточий, Д. В. Кузнецова, М. Б. Мурадова, А. В. Проскура // Ползуновский вестник. 2020. №2. С. 27–34.
3. Самбуров А. М. Микрозелень // Конкурентоспособность территорий. Екатеринбург : Уральский государственный экономический университет, 2018. С. 84–86.
4. Тюрина Л. Е., Табаков Н. А. Использование и переработка сои. Красноярск : «Красноярский государственный аграрный университет», 2008. С. 11–21.
5. Исследование биохимической ценности проростков гороха овощного (*Pisum sativum* L.) / О. В. Ушакова, А. В. Молчанова, И. П. Котляр, В. А. Ушаков, Е. П. Пронина, Н. П. Вершинина, А. В. Солдатенко // Второй Международный форум «Зернобобовые культуры, развивающееся направление в России» (Омск, 17–20 июля 2018 года). Омск : ООО «Полиграфический центр КАН», 2018. С. 202–206.
6. Васюкова А. Н. Изучение содержания суммы флавоноидов в семенах и проростках сои // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. 2013. № 4. С. 9–13.
7. ГОСТ 24556-89 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С.
8. ГОСТ Р 55488 – 2013 Метод определения полифенолов.
9. ГОСТ 13399-89 ЦВЕТКИ АРНИКИ Технические условия.
10. RU2170930C1 – Способ определения антиокислительной активности.
11. Нургожина Ж. К., Казатова М. Ж. Антиоксидантная активность пророщенных зерен, как показатель обогащения продуктов питания // Научные труды СКФНЦСВВ. 2018. Т. 20. С. 41–43.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В МИКРОЗЕЛЕНИ ГОРОХА

В. М. Малькова, Т. А. Адамович, Е. В. Береснева

Вятский государственный университет, malkovaviktoria33@gmail.com

В статье представлен опыт выращивания и определения биологически активных веществ и антиокислительной активности в микрозелени гороха, сравнение их содержания с микрозеленью сои. Рассмотрены методы, с помощью которых возможно определение аскорбиновой кислоты, флавоноидов, полифенолов и антиокислительной активности.

Ключевые слова: микрозелень гороха, биологически активные вещества, флавоноиды, антиокислительная активность, аскорбиновая кислота.

В последние годы широкое распространение в качестве компонента здорового питания стали получать проростки (микрозелень) различных культур. Микрозелень – фаза молодого растения, растущего на субстрате, имеющего развитый гипокотиль, развернутые зеленые семядоли, 1–2 настоящих листа. Корни располагаются в субстрате. В пищу используют только надземную часть растения [1]. Исследований по теме микрозелени с химической точки зрения недостаточно. Не приводится методик, с помощью которых определяются биологически активные вещества.

Цель – определение содержания аскорбиновой кислоты, полифенольных соединений, флавоноидов, антиоксидантов в микрозелени гороха.

Микрозелень гороха выращивали в емкостях, где в качестве субстрата использовалась марля. Определение аскорбиновой кислоты проводили методом Тильманса, который основан на ее экстрагировании с раствором соляной кислоты с последующим титрованием раствором 2,6-дихлорфенолиндифенолятом натрия до установления светло-розовой окраски [2]. Полифенольные соединения определяли методом, который основан на реакции окисления полифенольных соединений водно-спиртового экстракта микрозелени реактивом Фолина-Чокальтеу и последующим фотометрированием образующегося синего комплекса при длине волны 765 нм, где в качестве внутреннего стандарта использовалась галловая кислота [3]. Флавоноиды выявляли методом, основанным на спектрофотометрическом определении оптической плотности комплексов, образующихся при взаимодействии флавоноидов с хлоридом алюминия при длине волны 410 нм, где в качестве стандарта служит рутин [4]. Определение антиокислительной активности проводили методом, который основан на окислении антиоксидантов перманганатом калия, где в качестве стандарта используется кверцетин [5].

Результаты проведенного исследования представлены в таблице.

**Содержание биологически активных веществ
в микрозелени гороха и сои**

Вид микрозелени	Аскорбиновая кислота, %	Флавоноиды, %	Полифенолы, %	Антиоксиданты, мг/г
Микрозелень гороха	15,17	0,018±0,005	2,63±0,7	3,2±0,8
Микрозелень сои	0,27	0,0099±0,0025	11,5±2,9	12,5±3,1

Установлено, что содержание аскорбиновой кислоты в микрозелени гороха достаточно велико по сравнению с их содержанием в микрозелени сои. Что касается флавоноидов, то проведенное исследование показало, что проростки микрозелени гороха и сои имеют примерно одинаковое количество этих веществ. Содержание полифенольных соединений в микрозелени гороха в 4,4 раза ниже, чем в микрозелени сои.

Антиоксидантная активность зависит от содержания в образце свободных полифенольных соединений, которые способны связывать свободные радикалы, подавляя окислительный стресс. Согласно литературным данным [6], микрозелень гороха отличается высоким содержанием полифенольных соединений, что подтверждается полученными данными. Насыщение готовых блюд этими составляющими позволит обогатить продукты питания биодоступными антиоксидантами фенольной природы.

Таким образом, микрозелень гороха является перспективным видом растений с достаточно высоким содержанием полифенолов и аскорбиновой кислоты, что позволяет рекомендовать ее для создания новых функциональных пищевых продуктов с повышенным антиоксидантным действием. Микрозелень гороха можно использовать как источник биологически активных веществ.

Библиографический список

1. Микрозелень проростков гороха овощного / Л. М. Шило, О. В. Ушакова, В. А. Ушаков, Л. В. Павлов, А. В. Молчанова // Картофель и овощи. 2019. № 8. С. 21–22.
2. Методы определения витамина С [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022765> (дата обращения: 23.03.2022).
3. Метод определения полифенолов [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104875> (дата обращения: 23.03.2022).
4. Метод определения флавоноидных соединений [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102032> (дата обращения: 23.03.2022).
5. Способ определения антиокислительной активности [Электронный ресурс]. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002170930_20010720_C1_RU/ (дата обращения: 23.03.2022).
6. Tajoddin M., Manohar S., Lalitha J. Effect of Soaking and Germination on Polyphenol Content and Polyphenol Oxidase Activity of Mung Bean (*Phaseolus aureus* L.) Cultivars Differing in Seed Color // International Journal of Food Properties. 2014. No. 17. P. 782–790. doi: 10.1080/10942912.2012.654702

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА ПЛОДОВ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ

Д. В. Болдырев, Е. Г. Ханжина, С. Ю. Огородникова
Вятский государственный университет, boldyrev.daniil.2018@mail.ru

В статье обобщена информация по содержанию биологически активных веществ (БАВ) в плодах черной смородины. Особое внимание уделено сортовым особенностям накопления, а также сохранности БАВ в процессе хранения и переработки ягод.

Ключевые слова: черная смородина, антоцианы, фенольные соединения, витамин С, витамин Р.

Ribes nigrum L. (смородина черная) – многолетний кустарник семейства крыжовниковые. Его высота достигает полутора метров. Листья крупные, до 12 см длиной и шириной, тройчато- или пальчато-лопастные, черешковые; листорасположение очередное. Цветки собраны в соцветие – кисть. Плод – ягода, диаметром до 10 мм. Цветет в мае – июне, плодоносит в июле – августе [1].

Смородина черная имеет широкий ареал, охватывая практически всю Европу, за исключением юга, Урал, лесостепную зону Сибири, до Байкала, среднюю Азию, Казахстан, Китай [2].

R. nigrum произрастает на хорошо освещенных местах, предпочитает умеренную температуру от 18 до 20 °С. Влаголюбивое растение, не выносит сухости, но при этом не может расти на болотистых почвах. Чувствительна к повышенной кислотности почвы. Нужно отметить, что смородина довольно морозостойкая и зимостойкая ягодная культура. Нередко случается обмерзание надземной части растения, в основном вегетативных органов. Это связано с множеством факторов: величиной снегового покрова, водным режимом, обеспечением питательными веществами в предшествующий летний период, поражением побегов вредителями и болезнями [3].

Издавна, смородина черная использовалась в сельском хозяйстве. Ягоды использовали для домашних заготовок, а листья сушили и заваривали вместо чая. Помимо этого, широкое распространение растение получило в народной медицине, при желудочных заболеваниях, цинге. Настои из листьев обладают потогонным и мочегонным свойствами [1].

В настоящее время смородина черная используется в промышленности: для производства детского питания, в качестве добавок для диетического питания [4].

Такое широкое применение возможно благодаря высокому содержанию биологически активных веществ (БАВ) в плодах и листьях *R. nigrum* [5]: антоцианов, полифенольных соединений, витаминов С и Р, органических кислот, пектина [6].

Смородина черная характеризуется высоким содержанием фенольных соединений [5]. К ним относятся полифенольные соединения (в частности флавоноиды) и фенолкарбоновые кислоты. В свою очередь наиболее распространенными флавоноидами *R. nigrum* являются антоцианы, лейкоантоцианы и катехины [6].

Антоцианы – это комплекс окрашенных растительных водорастворимых пигментов, в смородине черной он представлен 3-глюкозидами и 3-рутинозидами цианидина и дельфинидина [7]. Антоцианы нашли широкое применение в пищевой промышленности в качестве красящего агента [8]. Среднее содержание антоцианов 350 мг/ 100 г ягод [9], но эта цифра может значительно меняться в зависимости от сорта. Например, содержание антоцианов в ягодах смородины черной сорта Муравушка достигает 500 мг/100 г, а в плодах сорта Партизанка брянская – 184,2 мг/100 г [10].

Показано, что содержание антоциановых пигментов не зависит от условий выращивания, а определяется только сортом [8]. Но это справедливо для оптимальных температур 18–20 °С. Известно, что при температурах около 4–5 °С происходит усиление синтеза антоцианов и уменьшение синтеза хлорофилла в листьях. Это связывают с процессами теплообмена в растениях. Дело в том, что антоцианы поглощают свет в области ультрафиолета и зеленого света, и превращают часть световой энергии в тепловую, тем самым увеличивая температуру листа [6].

В процессе термообработки (экстракции горячим водным раствором) наблюдается разрушение антоцианов, для борьбы с этим можно применять аскорбиновую кислоту. Ее действие связано с двумя факторами: во-первых, в слабокислой среде устойчивость антоцианов увеличивается; во-вторых, содержание в растворе аскорбиновой кислоты способствует образованию комплекса антоциан-белок, что положительно сказывается на устойчивости пигмента.

Также антоцианы обладают антиоксидантной активностью: они улавливают свободные радикалы, снижают окислительный стресс, что оказывает благоприятное влияние на зрение [6, 11].

Лейкоантоцианы (проантоцианидины) – фенольные соединения, которыми также богата смородина черная, но среди флавоноидов они менее устойчивы, имеют высокую склонность к полимеризации. При этом среди фенольных соединений они имеют самую высокую антиоксидантную активность [12]. Среднее содержание лейкоантоцианов довольно высокое – 417 мг/100 г ягод [13].

Катехины (флаван-3-диолы) – наиболее изученный класс флавоноидов. В плодах они встречаются в основном в виде олигомерных и полимерных форм с лейкоантоцианами [12]. Хотя содержание свободных катехинов не велико, около 170 мг/100 г ягод, но именно они обладают наибольшей Р-витаминной активностью среди всех фенольных соединений. Минимальное содержание катехинов в ягодах сорта Ладушка (97 мг/100 г), а максимальное – сорта Аметист (388,8 мг/100 г) [14].

Еще одним классом фенольных соединений являются фенолкарбоновые кислоты. Главным образом – это салициловая, таниновая, галловая, кофейная, транс-коричная, феруловая, паракумовая кислоты [6]. Их суммарное содержание варьирует от 39,7 мг/100 г (сорт Очарование) до 112,3 мг/100 г (сорт Сенсей). Среднее содержание фенолкарбоновых кислот в плодах смородины черной – 75,4 мг/100 г [15].

Такое высокое содержание фенольных соединений говорит о высокой значимости данных биологически активных веществ для растений. Флавоноиды участвуют во многих окислительно-восстановительных процессах, в том числе в дыхании. Также полифенольные соединения повышают устойчивость растений к действию отрицательных температур [16]. Так, после заморозки содержание фенольных соединений в ягодах смородины черной увеличивается в среднем на 2% [17]. При заморозке и последующем хранении ягод в течение 9 месяцев содержание фенольных соединений увеличилось на 16% [18].

Роль Р-активных веществ в организме человека велика. Витамин Р оказывает влияние на эластичность и проницаемость сосудов, тем самым нормализует деятельность сердечно-сосудистой системы. Также витамин Р является синергистом витамина С, то есть усиливает его действие.

Смородина черная характеризуется высоким содержанием витамина С. Аскорбиновая кислота является очень нужным соединением для растений; она участвует в важнейших энергетических процессах клетки: фотосинтезе и дыхании [12]. Содержание витамина С в ягодах *R. nigrum* изменяется в пределах от 89,3 мг/100 г (сорт Памятная) до 233,8 мг/100 г (сорт Десертная Огольцовая), при среднем значении – 161,7 мг/100 г [14]. При этом на содержание аскорбиновой кислоты влияют в основном сортовые особенности, а не условия среды [19]. В процессе заморозки потери аскорбиновой кислоты незначительны (до 5 %) [17], после 9 месяцев хранения потери увеличиваются до 11% [18].

Таким образом, смородина черная характеризуется высоким содержанием биологически активных веществ. Особенно велико количество фенольных соединений, витамина С и антоцианов. В процессе замораживания, хранения ягод наблюдается увеличение содержания Р-активных веществ, и незначительное уменьшение содержания витамина С. Сортовые особенности во многом определяют накопление БАВ в плодах смородины черной, условия произрастания в меньшей степени влияют на содержание ценных компонентов.

Библиографический список

1. Мазнев Н. И. Энциклопедия лекарственных растений. М. : Мартин, 2004. 496 с.
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. Северин В. Ф. Черная смородина в Сибири: технология выращивания, заготовка и переработка. М. : Росагропромиздат, 1988. 93 с.
4. Титова Л. В., Кирина И. Б., Белосохов Ф. Г. Сорты смородины черной отвечающие требованиям перерабатывающей промышленности // Инновационные подходы к разработке технологий производства, хранения и переработки продукции растениеводческого кластера : материалы Всерос. научн.-практ. конф. Мичуринск : Мичуринский государственный аграрный университет, 2020. С. 120–123.

5. Сравнительная оценка биохимического состава ягод перспективных сортов смородины черной / Л. В. Титова, И. Б. Кирина, Г. С. Усова, А. С. Ратушный // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2019. № 2. С. 16–21.
6. Петрова С. Н., Кузнецова А. А. Состав плодов и листьев смородины черной *Ribes nigrum* (обзор) // Химия растительного сырья. 2014. № 4. С. 43–50.
7. Антоцианы черной смородины: экстракция и сушка / В. И. Дейнека, Л. А. Дейнека, Е. И. Шапошник, В. Н. Сорокопудов, А. А. Сиротин // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2006. № 11. С. 77–80.
8. Антоцианы плодов черной смородины Москвы и Санкт-Петербурга / Л. А. Дейнека, И. П. Анисимович, Е. И. Шапошник, А. Н. Чулков, В. И. Дейнека, О. Н. Аладина, С. В. Акимова, Г. А. Фирсов, Д. В. Дейнека, В. Н. Сорокопудов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2011. № 15–2(104). С. 271–276.
9. Чжао Ю., Цзя Л. Исследования содержания антоцианов глюкозидов и изменения цвета в концентрированном соке черной смородины // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов : материалы VIII междунар. форума: в 2 ч. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2015. С. 296–306.
10. Причко Т. Г., Яковенко В. В., Германова М. Г. Биохимические показатели качества ягод смородины с учетом сортовых особенностей // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2017. № 45 (3). С. 105–113.
11. Чеснокова Н. Ю., Ашихмин Е. А. Влияние аскорбиновой кислоты на интенсивность извлечения антоцианового пигмента из ягод черной смородины и его стабильность // Индустрия питания. 2020. № 4. С. 68–73. doi: 10.29141/2500-1922-2020-5-4-10
12. Жбанова Е. В. Витамины плодов и ягод (аналитический обзор литературы) // Избранные вопросы современной науки : монография. М., 2017. С. 5–34.
13. Макаркина М. А., Янчук Т. В., Князев С. Д. Изучение р-активных веществ в ягодах сортов и гибридов смородины черной // Плодоводство и ягодоводство России. 2011. № 2. С. 44–52.
14. Янчук Т. В. Оценка генофонда смородины черной по содержанию аскорбиновой кислоты и фенольных соединений в ягодах // Современное садоводство. 2013. № 4(8). С. 41–50.
15. Тихонова О. А., Шеленга Т. В. Биологически активные вещества ягод черной смородины в условиях Северо–Запада России // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 3. С. 50–58. doi: 10.30901/2227-8834-2019-3-50-58
16. Эчеди Й. Й. Роль полифенольных соединений в устойчивости растений смородины черной к заморозкам // Плодоводство и ягодоводство России. 2012. № 2. С. 323–331.
17. Макаркина М. А., Янчук Т. В. Оценка сортов плодовых и ягодных культур, выращенных в условиях ЦЧР РФ, по биохимическим показателям плодов // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 10. С. 26–29.
18. Мяснищева Н. В., Артемова Е. Н. Изучение биологически активных веществ ягод черной смородины в процессе хранения // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 3(30). С. 36–40.
19. Бжецева Н. Р. Биохимический состав плодов смородины // Новые технологии. 2017. № 2. С. 90–98.

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНЫХ СВОЙСТВ ЭКСТРАКТА ВИНОГРАДА СОРТА «МОЛДОВА»

М. Д. Головьев, Я. И. Зяблицева, Т. А. Адамович
Вятский государственный университет, mikl-999@yandex.ru

В статье представлены экспериментальные данные по исследованию антиоксидантной активности и флавоноидов в различных экстрактах винограда культурного (*Vitis vinifera* L.) сорта «Молдова». Установлен, что этот сорт является источником флавоноидов. Полученные данные могут быть использованы для синтеза новых биологически активных препаратов.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, флавоноиды, кулонометрический метод, спектрофотометрический метод, экстракт растительного происхождения, виноград.

Негативное воздействие факторов окружающей среды на организм человека являются причиной различных заболеваний центральной нервной системы, первоочередной причиной которых является нехватка антиоксидантов и, впоследствии, окислительный стресс [1]. Решение проблемы – потребление продуктов питания, лекарственных средств и биологических добавок с высокой антиокислительной активностью.

Виноград является одним из наиболее богатых источников биологически-активных веществ среди фруктов с широким спектром комплексов природных веществ. В данный момент наиболее перспективным для исследования фитохимических компонентов является виноград с темно-фиолетовыми плодами [2]. Фитохимические компоненты в винограде в основном включают простые фенолы, флавоноиды (антоцианы, флаванолы, флавонолы) и фенольные кислоты, обладающие полезными свойствами, оказывающими влияние на здоровье человека. Потребление этих веществ предотвращает возможное развитие дегенеративных заболеваний у людей в будущем за счет связывания активных форм кислорода [3].

Флавоноиды представляют собой класс вторичных метаболитов растительного происхождения с различной полифенольной структурой и являются наиболее известными пигментами, наряду с хлорофиллом и каротиноидами [4]. В винограде – это одни из самых мощных фитонутриентов, известные своим широким спектром биологической активности (антирадикальный, противовирусный и противовоспалительный) и определяющие его антиоксидантную активность [5].

Целью исследования стало определение антиоксидантной активности и флавоноидов в водной и спиртовой выжимках винограда культурного (*Vitis vinifera* L.) сорта «Молдова».

Количественное определение флавоноидов проводили по ГОСТ 13399–89 [6]. Метод основан на спектрофотометрическом определении оптической

плотности комплексов, образующихся при взаимодействии флавоноидов с хлоридом алюминия, в качестве стандарта служит рутин. Антиоксидантную активность определяли методом кулонометрического титрования при постоянной силе тока в пересчете на аскорбиновую кислоту [7].

В результате спектрофотометрического определения выявлено, что в спиртовом экстракте винограда сорта «Молдова» присутствуют флавоноиды, их содержание равно 0,0875%. В результате кулонометрического определения антиоксидантной активности установлена масса антиоксидантов в пересчете на аскорбиновую кислоту (0,334 мг).

Полученные данные могут быть использованы для синтеза новых препаратов с содержанием природных антиоксидантов и флавоноидов.

Стоит отметить, что различные методы анализа *in vitro* могут давать иные результаты при оценке антиоксидантной активности в растительных веществах. Это связано с тем, что одна методика анализа не может учитывать процессы взаимного окисления/восстановления, эффект распределения антиоксидантов в неоднородной системе, а также влияние других веществ в тест-системе [8].

Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют о том, что виноград сорта «Молдова» является источником флавоноидов. С помощью спектрофотометрического анализа определили числовые показатели содержания флавоноидов в данном виде сырья, применили кулонометрический метод анализа для определения величины содержания антиоксидантов в растительном компоненте.

Библиографический список

1. Фурман Ю. В. Окислительный стресс и антиоксиданты // Актуальные проблемы социально-гуманитарного и научно-технического знания. 2019. № 1 (17). С. 1–3.
2. Agrawal A. D. Pharmacological Activities of Flavonoids: A Review // International Journal of Pharmaceutical Sciences and Nanotechnology. 2011. Vol. 4. No. 2. P. 1394–1398.
3. 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.
4. Rodríguez De Luna S. L., Ramírez-Garza R. E., Saldívar S. O. S. Environmentally Friendly Methods for Flavonoid Extraction from Plant Material: Impact of Their Operating Conditions on Yield and Antioxidant Properties // The Scientific World Journal. 2020. Vol. 2020. P. 1–38.
5. Georgiev V., Ananga A., Tsolova V. Recent Advances and Uses of Grape Flavonoids as Nutraceuticals // Nutrients. 2014. Vol. 6 (1). P. 391–415.
6. ГОСТ 13399-89. Цветки арники. Технические условия. Введ. 1990-05-01. М., 1995.
7. 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.
8. Тринеева О. В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 4 (21). С. 180–197.

ОЦЕНКА ПОЛЕЗНЫХ СВОЙСТВ ПЛОДОВ РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И РЯБИНЫ ЧЕРНОПЛОДНОЙ ПО ХИМИЧЕСКИМ И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИМ АНАЛИЗАМ

А. В. Деменева, А. И. Фокина, А. С. Олькова
Вятский государственный университет

В статье охарактеризованы полезные свойства рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) и рябины черноплодной (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott). Показано, что водная вытяжка из плодов рябины обыкновенной обогащена антиоксидантными веществами больше, чем настой из рябины черноплодной.

Ключевые слова: полезные свойства, рябина обыкновенная, рябина черноплодная, антиоксидантная активность, каротиноиды, токсичность.

Свежие фрукты и овощи, а также побочные продукты их переработки богаты антиоксидантами, такими как аскорбиновая кислота, токоферолы, каротиноиды и полифенолы. Полифенолы в плодах и овощах в основном включают фенольные кислоты, флавоноиды. Антиоксиданты являются веществами, которые способны предотвратить или замедлить окисление липидов, белков и ДНК, защитить ткани от повреждений, вызванных действием кислорода или свободных радикалов. Многие плоды древесных растений славятся высоким содержанием таких веществ, что объясняет их полезные свойства.

Целью данной работы было оценить полезные свойства рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) и рябины черноплодной (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott) по показателям антиоксидантной активности, содержания каротиноидов и биолуминесцентной реакции *Escherichia coli* (в препарате «Эколюм»).

Зрелые плоды рябины обыкновенной и аронии черноплодной были собраны в октябре 2021 г. в г. Верещагино Пермского края (Россия) и заморожены. Определение выбранных показателей проводили в водной вытяжке из размороженных плодов (1:5 по массе). Вытяжки готовили с использованием дистиллированной и природной артезианской воды, а также с вариациями температуры их приготовления – 100°C и 20°C. Время экстракции – 3 часа.

Антиоксидантную активность (АОА) определяли кулонометрическим методом в лабораторных условиях в пересчете на стандартный образец пищевых продуктов [1]. Количество каротиноидов в пробах оценивали спектрофотометрически [2]. Токсичность определяли по изменению биолуминесценции бактериального препарата на основе *Escherichia coli* (препарат «Эколюм») с помощью прибора «Биотокс-10М» [3].

Полученные результаты представлены в таблице.

**Характеристика водных вытяжек из плодов рябины обыкновенной и
рябины черноплодной**

Вариант			АОА (мг/10 г)	Каротиноиды (мг%)	pH, (единицы pH)	Индекс токсичности Т, (у.е.)
Рябина черно- плодная	Дист. вода	20°	0,80±0,06	0,41±0,071	3,63	56,18±15,21
		100°	0,97±0,08	0,295±0,035	3,99	-49,73±29,92
	Пит. вода	20°	0,91±0,08	0,385±0,035	6,63	-
		100°	1,14±0,07	0,73±0,042	5,03	846,04±327,27
Рябина обыкно- венная	Дист. вода	20°	1,48±0,04	0,155±0,035	3,70	-13,10±7,49
		100°	1,77±0,38	0,795±0,078	3,66	55,32±12,42
	Пит. вода	20°	1,435±0,007	0,53±0,014	6,03	-403,16±64,15
		100°	2,21±0,04	0,385±0,035	4,58	-212,11±130,37

Примечание: результат представлен в виде $M \pm \delta$, где M – среднее арифметическое, δ – стандартное отклонение; дист. вода – дистиллированная вода, пит. вода – питьевая вода, у.е. – условные единицы.

Наибольшая антиоксидантная активность наблюдалась в вытяжке из *S. aucuparia*, приготовленной на артезианской воде питьевого качества. Показатель был в 1,93 раза выше, чем для аналогичной пробы, приготовленной из *A. melanocarpa* ($p < 0,05$). Причем количество каротиноидов в данной пробе было на среднем уровне по сравнению с проанализированными пробами: $0,385 \pm 0,035$ мг%, тогда как минимальное ($0,155 \pm 0,035$ мг% – 20 °С, дистиллированная вода) и максимальное ($0,795 \pm 0,078$ мг% – 100°С, дистиллированная вода) содержание каротиноидов также было обнаружено в разных вытяжках из плодов *S. aucuparia*.

Тенденция большего выхода веществ, обладающих АОА, в водную вытяжку соблюдается для всех проб, приготовленных из плодов *S. aucuparia* по сравнению с *A. melanocarpa* ($p < 0,05$), при парном сравнении проб с одинаковыми условиями приготовления. Для каротиноидов такой закономерности не наблюдается. Это объясняется тем, что АОА складывается из содержания в растительном сырье многих веществ.

Положительные индексы токсичности, свидетельствующие об угнетении тест-организмов, наблюдаются только в вытяжках, приготовленных с использованием дистиллированной воды. Это объясняется низким уровнем pH в данных пробах (3,63–3,99 ед. pH). В вытяжках на дистиллированной воде наблюдалась стимуляция *E. coli*, однако она была на порядок меньше, чем в пробах, приготовленных на питьевой воде.

Таким образом, водную вытяжку (настой) из плодов рябины обыкновенной, приготовленную холодным способом на питьевой воде (20°С), можно рекомендовать для употребления в качестве источника веществ, обладающих антиоксидантной активностью.

Библиографический список

1. Методическая разработка. Суммарная антиоксидантная и оксидантная активность. М. : ООО «Эконикс-Эксперт», 2010. 18 с.
2. ФС 42-2067-96. Масло шиповника [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-browser%3A%2F%2F4DT1uXEPPrJRXIUFoewru-IspdJvGTrUsk9oVsn1sEdPPlkB7AEVQ9RH2q11-p6o9XoBo5FhhBBI1WEzFlGYpMdcK0xAA-UFjKsb6fjj45jBF-Ba0nMANSzxeor6EiCjDoMBTDjPMY_IMmb5J57F5tUQ%3D%3D%3-Fsign%3DIWlxGSDy8H6Rlgqq_Mfii1wVHHf1QD1QUlaQ_T8feGs%3D&name=Проект_ФС-Шиповника-масло.docx&nosw=1 (дата обращения: 20.03.2022).
3. ПНДФ Т 14.1:2:3:4.11-04. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм», 2010.

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПЛОДОВ И ЛИСТЬЕВ РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, РЯБИНЫ ЧЕРНОПЛОДНОЙ И ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ

*Г. А. Лучинин, М. В. Исупова, А. А. Елец,
И. Р. Гребенев, А. А. Бурков, Е. В. Товстик*

Вятский государственный университет, luchinin-egor@mail.ru

В статье представлены результаты исследования элементного состава плодов и листьев рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), рябины черноплодной (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott) и облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.). Установлено, что наиболее богаты макро- и микроэлементами плоды облепихи крушиновидной и листья рябины обыкновенной.

Ключевые слова: элементный состав, рентгенофлуоресцентный анализ, плод, лист, рябина обыкновенная, рябина черноплодная, облепиха крушиновидная.

Несмотря на известные профили фармакологической активности химических компонентов лекарственного растительного сырья (ЛРС), изучение его элементного состава не теряет своей актуальности [1]. Это связано с тем, что данные о содержании микро- и макроэлементов, наряду с содержанием биологически активных веществ, позволяют доказать безопасность ЛРС [2].

Перспективным методом анализа элементного состава растительного сырья, в том числе лекарственного, является рентгенофлуоресцентная спектрометрия [3]. Метод позволяет определить в сырье минеральные элементы в виде оксидов. Однако имеются сведения о том, что минеральные вещества, входящие в состав высокомолекулярных органических соединений, этим методом определить невозможно [4].

Согласно ОФС.1.5.1.0001.15 Государственной фармакопеи XIV издания, ЛРС может быть представлено различными морфологическими группами, в

том числе плодами и листьями. Наиболее доступным источником данного сырья являются культивируемые плодово-ягодные деревья и кустарники.

Цель работы – количественное определение элементного состава плодов и листьев рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), рябины черноплодной (*Aronia melanocarpa* Michx.) Elliott) и облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.).

Зрелые плоды и листья отбирали в сентябре 2021 г. на территории г. Кирова. Плоды сушили в сушильном шкафу при температуре 60 °С, листья – при комнатной температуре в тени. После сушки измельчали плоды и листья в мельнице, пропускали через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Элементный состав плодов и листьев определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа. Пробы предварительно озоляли при температуре 500±5°С. Анализ выполняли на энергодисперсионном спектрометре EDX-720 производства фирмы «Shimadzu», Япония. Прибор снабжен рентгеновской трубкой с родиевым анодом, воздушным охлаждением, напряжением 5–50 кВ, током 1–1000 мкА. Для определения аналитических линий элементов съемку производили под вакуумом, диаметр коллиматора – 5 мм, использовали режим «easy» для более точного определения легких элементов. Калибровку прибора осуществляли серией стандартных образцов.

Независимо от вида растения в плодах количественно преобладал калий, кальций, фосфор. В меньшем количестве обнаруживались сера, магний, кремний, марганец, железо (табл. 1).

Таблица 1

Элементный состав плодов в пересчете на сухое вещество

Вид растения	Элемент, мг / 100 г							
	К	Ca	P	S	Mg	Si	Mn	Fe
Рябина обыкновенная	2027	300	156	32	33	10	12	5
Рябина черноплодная	1490	351	110	31	45	7	5	8
Облепиха крушиновидная	2083	165	166	104	32	н/о	3	8

Примечание: в таблицах 1 и 2 «н/о» означает ниже предела обнаружения.

В целом плоды имели сходный элементный состав с незначительным колебанием их количества. Содержание микро- и макроэлементов в листьях исследованных видов растений было одного порядка (табл. 2).

Таблица 2

Элементный состав листьев в пересчете на сухое вещество

Вид растения	Элемент, мг / 100 г							
	К	Ca	P	S	Mg	Si	Mn	Fe
Рябина обыкновенная	1383	3893	411	61	210	56	56	48
Рябина черноплодная	871	4336	424	43	405	42	50	н/о
Облепиха крушиновидная	1075	2351	190	115	152	35	18	37

Известно, что потребность человека в макроэлементах составляет от нескольких миллиграммов, до нескольких граммов в день, в микроэлементах – в десятки раз меньше, чем макроэлементов. При недостаточном поступлении

минеральных веществ с едой нарушается нормальное функционирование и развитие органов и систем организма человека, нарушается обмен веществ. Следует отметить, что как недостаток, так и избыток макро- и микроэлементов в организме человека ведет к появлению микроэлементозов и к существенным сбоям метаболизма, либо появлению специфических недугов [6].

Суточная потребность человека в К составляет 2500, Са – 1200, Р – 1000, S – 600, Mg – 400; Si– 30; Mn – 2; Fe – 14 мг [7].

По данным эксперимента кальция и магния содержится больше всего в плодах и листьях рябины черноплодной. По содержанию калия, марганца и кремния выделяется рябина обыкновенная. Серы больше всего содержится в облепихе крушиновидной. Фосфором наиболее богаты плоды облепихи крушиновидной и листья рябины черноплодной. Значительных различий в содержании железа в плодах исследуемых видов растений не выявлено.

Исходя из данных, полученных в ходе эксперимента, можно заключить, что наиболее богаты макро- и микроэлементами плоды облепихи крушиновидной и листья рябины обыкновенной.

Библиографический список

1. Комаров Б. А. Элементный состав тысячелистника обыкновенного // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2018. № 3. С. 158–161.
2. Загурская Ю. В., Сиромля Т. И. Химический элементный состав *Hypericum perforatum* – нормируемые химические элементы (As, Cd, Hg, Pb) // Химия растительного сырья. 2020. № 3. С. 163–170. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020035660>
3. Qualitative elemental analysis of selected potential anti-asthmatic medicinal plant taxa using EDXRF technique / S. Jyothsna, G. Manjula, S. Suthari, A. S. N. Rao // *Heliyon*. 2020. Vol. 6. Iss. 2. e03260. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03260
4. Исследование минерального состава в процессе переработки дикорастущих ягод / Л. П. Нилова, Р. А. Икрамов, С. М. Малютенкова, А. С. Веряскина // Вестник ВГУИТ. 2018. № 1. С. 151–156. doi: 10.20914/2310-1202-2018-1-151-156
5. Микроэлементы [Электронный ресурс]. – URL: <http://cgon.rospotrebnadzor.ru/content/sostav-pitaniya/mikroelementy> (дата обращения: 23.03.2022).
6. Минеральные вещества. Микроэлементы и макроэлементы [Электронный ресурс]. – URL: <http://42.rospotrebnadzor.ru/content/777/101714/> (дата обращения: 23.03.2022).
7. Макро- и микроэлементы [Электронный курс]. – URL: <https://vitamini.ru/vse-omineralakh/micro-i-macro/> (дата обращения: 24.03.2022).

АДСОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛИСТЬЕВ ПЛОДОВЫХ РАСТЕНИЙ

И. Р. Гребенев, М. В. Исупова, А. А. Елец, Г. А. Лучинин, Е. В. Товстик
Вятский государственный университет, stud115471@vyatsu.ru

В статье представлены результаты исследования адсорбционной способности трех микрофракций: менее 0,25; 0,50 и 1,0 мм порошка из измельченных листьев рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), рябины черноплодной (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott), облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), шиповника собачьего (*Rosa canina* L.) по отноше-

нию к метиленовому синему. В качестве образца сравнения использовали сорбент на основе яблочного пектина. Выявлена зависимость адсорбционной способности листьев от фракции их помола.

Ключевые слова: адсорбционная способность, метиленовый синий, лист, рябина обыкновенная, рябина черноплодная, облепиха крушиновидная, шиповник собачий, сорбент на основе яблочного пектина.

Метиленовый синий является важным индустриальным красителем, в основном используется для окраски текстиля. Кроме этого, он широко применяется в фармацевтике и медицине. Сброс отходов, содержащих этот триазинный краситель, в окружающую среду нежелателен ввиду его токсичности [1, 2].

В связи с негативными последствиями метиленового синего для водных экосистем, разрабатываются различные способы его удаления из водных растворов. Один из них – адсорбция с помощью природных сорбентов.

В настоящее время биосорбцию все чаще рассматривают как экономичный и альтернативный метод удаления из сточных вод различных загрязнителей, в том числе красителей [3–6]. Например, в отношении метиленового синего установлен эндотермический, самопроизвольный характер адсорбции; увеличение ее скорости с укрупнением пор сорбентов и пр. [7, 8]. В качестве перспективных природных сорбентов предложены шелуха чины посевной; скорлупа орехов, листья различных растительных видов и их активированные формы [9–11].

Цель работы – исследование сорбционной способности порошка из измельченных листьев рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), рябины черноплодной (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott), облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), шиповника собачьего (*Rosa canina* L.), произрастающих на территории г. Кирова.

Зрелые листья плодовых растений отбирали в сентябре 2021 года на территории г. Кирова, сушили при комнатной температуре в тени. После сушки листья измельчали в мельнице, пропускали через сито с диаметром отверстий 0,25; 0,5 и 1,0 мм.

Изучение адсорбционной способности листьев по отношению к метиленовому синему включало приготовление основного, испытуемого и стандартного растворов.

В качестве основного раствора использовали водный раствор метиленового синего с концентрацией 1,5 г/л или 0,15%. Стандартный раствор метиленового синего готовили путем разбавления основного в 500 раз. Испытуемый раствор метиленового синего получали путем прибавления к 50 мл основного раствора 0,17 г (точная навеска) порошка измельченных листьев. Встряхивание испытуемого раствора осуществляли на шейкере при 130 об/мин. По истечению 1 часа 2 мл суспензии помещали в микроцентрифужную пробирку и центрифугировали в течение 20 мин в центрифуге со скоростью вращения

7000 об/мин. Отбирали 1 мл надосадочной жидкости, помещали в мерную колбу на 500 мл, доводили объем раствора дистиллированной водой до метки, перемешивали.

Оптическую плотность стандартного и испытуемого растворов метиленового синего измеряли при длине волны 664 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм.

Расчет адсорбционной способности (X) производили по формуле:

$$X = \frac{(A_0 - A_1) \cdot C_0 \cdot 50}{A_0 \cdot a_1}$$

где A_0 и A_1 – оптическая плотность стандартного раствора и испытуемого раствора соответственно; C_0 – концентрация метиленового синего, мг/мл; 50 – объем основного раствора, мл; a_1 – навеска измельченных листьев, г.

В качестве образца сравнения использовали сорбент на основе яблочного пектина «Жидкий уголь». Состав: таурин – 0,6; инулин – 0,6; янтарная кислота – 0,15; пектин – 3 г.

В ходе эксперимента наблюдали зависимость адсорбционной способности листьев от фракции их помола. При этом отмечали увеличение адсорбционной способности порошка листьев с уменьшением размеров его частиц, что связано с увеличением активной площади (табл.).

Таблица

Адсорбционная способность порошка измельченных листьев, мг/г

Вариант опыта	Микрофракция помола		
	<0,25 мм	<0,5 мм	<1 мм
Рябина обыкновенная	152±2	129±2	116±2
Рябина черноплодная	179±1	156±5	132±1
Облепиха крушиновидная	143±2	134±1	105±1
Шиповник собачий	177±1	135±1	64±1
Сорбент на основе яблочного пектина	39±5		

Относительно микрофракции помола листьев менее 0,25 мм установлен уровень адсорбционной способности, входящий в диапазон 143–179 мг/г, менее 0,5 мм – 129–156 мг/г, менее 1 мм – 64–132 мг/г. Для сорбента на основе яблочного пектина, по сравнению с измельченными листьями, установлена более низкая адсорбционная способность (39±5) по отношению к метиленовому синему.

Не зависимо от микрофракции, самую высокую адсорбционную способность отмечали для рябины черноплодной. Таким образом, среди исследованных видов растений, листья рябины черноплодной наиболее перспективны в качестве сорбентов метиленового синего.

Библиографический список

1. Acute toxicity of textile dye Methylene blue on growth and metabolism of selected freshwater microalgae / A. K. Moorthy, B. G. Rathi, S. P. Shukla, K. Kumar, V. S. Bharti // Environmental Toxicology and Pharmacology. 2021. Vol. 82. P. 103552. doi.org/10.1016/j.etap.2020.103552

2. Hanafy H. Adsorption of methylene blue and bright blue dyes on bayleaf capertree pods powder: Understanding the adsorption mechanism by a theoretical study // *Journal of Molecular Liquids*. 2021. Vol. 332. P. 115680. doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115680
3. *Aloe vera* waste biomass-based adsorbents for the removal of aquatic pollutants: a review / D. A. Giannakoudakis, A. Hosseini-Bandegharaei, P. Tsafrafidou, K. S. Triantafyllidis, M. Kornaros, I. Anastopoulos // *Journal of environmental management*. 2018. Vol. 227. P. 354–364. doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.064
4. The Use of Bilberry Leaves (*Vaccinium myrtillus* L.) as an Efficient Adsorbent for Cationic Dye Removal from Aqueous Solutions / G. Mosoarca, C. Vancea, S. Popa, M. Dan, S. Boran // *Polymers*. 2022. Vol. 14. No. 5. P. 978. doi.org/10.3390/polym14050978
5. Efficient removal of phenol compounds from water environment using *Ziziphus* leaves adsorbent / A. Al Bsoul, M. Hailat, A. Abdelhay, M. Tawalbeh, A. Al-Othman, I. Al-kharabshes, A. A. Al-Taani // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 761. P. 143229. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143229
6. Evaluation of the adsorption efficiency on the removal of lead(II) ions from aqueous solutions using *Azadirachta indica* leaves as an adsorbent / A. Elkhaleefa, I. H. Ali, E. I. Brima, I. Shigidi, A. B. Elhag, B. Karama // *Processes*. 2021. Vol. 9. No. 3. P. 559. doi.org/10.3390/pr9030559
7. Каштанова М. С., Морозова Н. С., Асланова Д. Р. Фотодинамическая терапия с применением метиленового синего у детей с церебральным параличом // *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. 2021. Т. 23, № 4. С. 31–35.
8. Verification of pore size effect on aqueous-phase adsorption kinetics: A case study of methylene blue / J. O. Ighalo, K. O. Iwuozor, C. A. Igwegbe, A. G. Adeniyi // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2021. Vol. 626. P. 127119. doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127119
9. Removal of methylene blue from aqueous solution using *Lathyrus sativus* husk: adsorption study, MPR and ANN modelling / I. Ghosh, S. Kar, T. Chatterjee, N. Bar, S. K. Das // *Process Safety and Environmental Protection*. 2021. Vol. 149. P. 345–361. doi.org/10.1016/j.psep.2020.11.003
10. Natural adsorption of methylene blue by waste fallen leaves of Magnoliaceae and its repeated thermal regeneration for reuse / D. Guo, Y. Li, B. Cui, M. Hu, S. Lou, B. Ji, Y. Liu // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 267. P. 121903. doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121903
11. Odoemelam S. A., Emeh U. N., Eddy N. O. Experimental and computational chemistry studies on the removal of methylene blue and malachite green dyes from aqueous solution by neem (*Azadirachta indica*) leaves // *Journal of Taibah University for Science*. 2018. Vol. 12. No. 3. P. 255–265. doi.org/10.1080/16583655.2018.1465725

ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПИГМЕНТОВ

А. Д. Косарева, Е. С. Соловьёва

Вятский государственный университет, anna7kosareva@yandex.ru

В статье представлен опыт применения хроматографических методов разделения растительных пигментов. Выявлена зависимость качества разделения пигментов от состава элюента, проведен подбор соотношения полярных и неполярных растворителей для более полного разделения пигментов на хроматограмме.

Ключевые слова: пигмент, хроматография, элюент, хлорофилл, каротиноиды, ксантофиллы.

Растительные пигменты являются предметом многих исследований, касающихся их выделения из растений и определения химического строения, изучения процессов, происходящих в растениях. Растения, в большинстве своем, содержат комплекс пигментов, поэтому выделение и разделение данных смесей на индивидуальные компоненты является актуальным.

Цель данной работы – сравнение хроматографических методов определения пигментирующих соединений в растительном сырье. Объектами исследования были листья спатифиллума и красный перец. В качестве методов использовались методы тонкослойной, бумажной и колоночной хроматографии.

Согласно определению международной комиссии ИЮПАК 1993 г., хроматография представляет собой физический метод разделения, в котором разделяемые компоненты распределены между двумя фазами, одна из которых является неподвижной (стационарная или неподвижная фаза), в то время как другая (подвижная фаза) движется в определенном направлении [1].

Бумажная хроматография – это хроматографический процесс, протекающий на листе фильтровальной бумаги при перемещении по ее капиллярам и поверхности подвижной фазы. Неподвижной фазой является либо сама бумага, либо вещества, предварительно нанесенные на ее волокна [1].

Данным методом было проведено разделение пигментов в листьях спатифиллума. Сорбентом послужила фильтровальная бумага. Элюентом – смесь бензина и бензола в соотношении 1:2.

Пигменты продвигались по бумаге с различной скоростью. Медленнее всех поднимался желто-зеленый хлорофилл b, быстрее – сине-зеленый хлорофилл a. Быстрее всех пигментов двигался каротин, т.к. его растворимость в элюенте выше, чем у остальных. Хлорофилл b лучше всех сорбируется неподвижной фазой, поэтому передвигается медленнее всех.

В результате бумажной хроматографии были выделены четыре пигмента: хлорофиллы a и b, ксантофилл и каротин.

Колоночная хроматография – способ препаративного разделения смесей жидких или твердых веществ, основанный на различном сродстве разделяемых веществ к неподвижной (сорбент) и подвижной (элюент) фазам. Как правило, чем лучше вещество сорбируется неподвижной фазой – тем медленнее выходит с колонки [1]. Сорбентом послужил оксид алюминия для хроматографии. Элюентом – бензин: бензол в соотношении 10:1.

В результате колоночной хроматографии в листьях спатифиллума и красном перце обнаружены хлорофиллы, каротиноиды и ксантофиллы (табл. 1).

Таблица 1

Результаты колоночной хроматограммы листьев спатириллума и красного перца

Растительное сырье	Пигмент на хроматограмме	Цвет пигмента
Листья спатириллума	хлорофилл b	желто-зеленый
	хлорофилл a	сине-зеленый
	ксантофилл	желтый
	каротиноиды	оранжево-желтый
Красный перец	каротин	оранжевый
	зеаксантин	розовато-оранжевый
	ликопин	красновато-морковный
	лютеин	светло-оранжевый
	ксантофилл	бледно-желтый

Тонкослойная хроматография – это хроматографический процесс, протекающий при движении подвижной фазы в тонком слое сорбента, нанесенном на инертную твердую подложку (пластинку) из соответствующего материала – стекла, металла или полимера [1].

В ряде случаев метод тонкослойной хроматографии является наиболее точным по сравнению с предшествующими, так как его реализация позволяет надежно дифференцировать и идентифицировать сложные смеси веществ [2]. В качестве экстрагента использовался ацетон, сорбентом послужил силикагель.

В результате тонкослойной хроматографии в экстракте спатириллума по окраске пятен были идентифицированы пятна пигментов – хлорофиллов, феофитина и каротиноидов (табл. 2).

Таблица 2

Результаты тонкослойной хроматограммы листьев спатириллума

Пигменты	Цвет зоны	Фактор удерживания Rf
ксантофилл	желтое пятно	0,114
хлорофилл b	желто-зеленое пятно	0,171
хлорофилл a	сине-зеленое пятно	0,203
феофитин	серое пятно	0,304
β-каротин	темно-желтое пятно	0,696

По результатам хроматограммы были проведены расчеты фактора удерживания (Rf). Чем дальше пигмент уходит от линии старта, тем больше фактор удерживания. Чем выше растворимость пигмента в растворителе, тем быстрее он будет передвигаться, и тем дальше от старта будет располагаться зона этого пигмента.

В ходе хроматографирования применялись различные составы и пропорции элюента. В полярных растворителях все компоненты экстракта остаются на старте, разделения не происходят. В неполярных растворителях компоненты хлорофилла уходят с фронтом растворителя, разделения также не происходит, в слабо полярных растворителях пигменты остаются вблизи линии старта, поэтому необходимо применение смешанного растворителя, то

есть смеси полярного и неполярного растворителей. Было выделено три самых удачных состава и пропорций элюента, с которыми произошло наиболее четкое разделение пигментов: толуол:ацетон 4:1; толуол: ацетон 10:3; толуол: ацетон 7:3.

Эксперимент показал, что лучшее разделение происходит при объемном соотношении толуол и ацетон 10:3. При использовании данного состава элюента удалось обнаружить на хроматограмме 8 пигментов, и 5 из них идентифицировать.

Таким образом, для использования на практике в эксперименте по разделению растительных пигментов наиболее удобным является метод тонкослойной хроматографии с сорбентом в виде силикагеля и оптимальным составом смешанного элюента – толуол: ацетон 10:3.

Библиографический список

1. Государственная фармакопея Российской Федерации XIII изд.
2. Конюхов В. Ю. Хроматография. СПб. : Лань, 2016. 222 с.

ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ β -КАРОТИНА В ПЛОДАХ ОБЛЕПИХИ КРУШИНОВИДНОЙ ПРИ ЭКСТРАКЦИИ РАЗНЫМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ

А. С. Нечаева, Е. С. Соловьёва

Вятский государственный университет, anuanechaeva12@gmail.ru

Доработана и валидирована методика количественного определения β -каротина в плодах облепихи крушиновидной при экстракции разными растворителями по следующим показателям: линейность, повторяемость. По результатам исследования основных характеристик подтверждается возможность использования этой методики для определения содержания β -каротина в растительном сырье.

Ключевые слова: каротиноид, β -каротин, пигмент, плоды облепихи крушиновидной, спектрофотометр, валидация.

В лекарственном растительном сырье распространены такие классы пигментов, как каротиноиды и антоцианы, которые имеют широкие перспективы использования в медицинской практике [1].

Каротиноиды представляют группу биоактивных соединений желто-оранжевого цвета, содержащихся в листьях растений, овощах и фруктах. По химической природе являются полинасыщенными углеводородами терпеного ряда и представляют полимер изопрена. Применяются каротиноидные пигменты в пищевой промышленности и медицине, входят в состав лекарственных препаратов.

Наиболее распространенной формой растительных каротиноидов является β -каротин, обладающий выраженными антиоксидантными, адаптогенными и иммуностимулирующими свойствами [1, 2]. Он является основным «сырьем» в синтезе витамина А. Недостаток этого витамина в организме человека приводит к снижению иммунитета, сухости и ломкости волос, шелушению кожи, нарушению пищеварения, ослаблению зрения [3].

Одним из перспективных растительных источников получения фармацевтических субстанций является облепиха крушиновидная. Плоды этого растения находят широкое применение как в народной, так и в официальной медицине. Фармакологическое действие препаратов плодов облепихи обусловлено содержанием биологически активных соединений, среди которых можно выделить каротиноиды.

Спектрофотометрические методики занимают особое место при определении каротина благодаря их простоте, экспрессности, высокой чувствительности, способности давать интегральную оценку тех или иных показателей. Однако, для определения каротиноидов в растительном сырье при экстракции различными растворителями, методика отсутствует, поэтому возникает необходимость доработки и валидации уже аттестованной методики.

Целью работы была доработка и валидация методики количественного определения содержания β -каротина в плодах облепихи крушиновидной при экстракции разными растворителями. Определение проводили на спектрофотометре при длине волны 450 нм.

Анализ литературных данных показывает, что каротиноиды растворимы в спирте различных концентраций, ацетоне, гексане, хлороформе и других органических растворителях [4]. Поэтому для извлечения суммы каротиноидов из плодов облепихи были использованы этиловый спирт, гексан и ацетон.

Валидационную оценку методики осуществляли согласно требованиям ГОСТ РМГ 61-2010 по следующим характеристикам: линейность, повторяемость.

Линейность определяли на пяти экспериментальных точках. Растворы готовили путем увеличения и уменьшения массы навесок: 1,6 г – 80%, 1,8 г – 90%, 2,0 г – 100%, 2,2 г – 110%, 2,4 г – 120%. Колбы с раствором этилового спирта закрывали пробкой с обратным холодильником и нагревали в течение 1 часа на водяной бане. Затем охлаждали до комнатной температуры, полученное извлечение фильтровали через бумажный фильтр и осторожно переносили в кювету спектрофотометра. Фотометрирование экстрактов каротина проводили относительно этилового спирта.

Колбы с раствором ацетона или гексана перемешивали в течение 20 мин с помощью механического шейкера. Полученное извлечение фильтровали через бумажный фильтр, смоченный гексаном или ацетоном. Измеряли оптическую плотность испытуемого раствора относительно гексана или ацетона.

По полученным данным строили график зависимости оптической плотности раствора от массы навески (рис. 1–3).

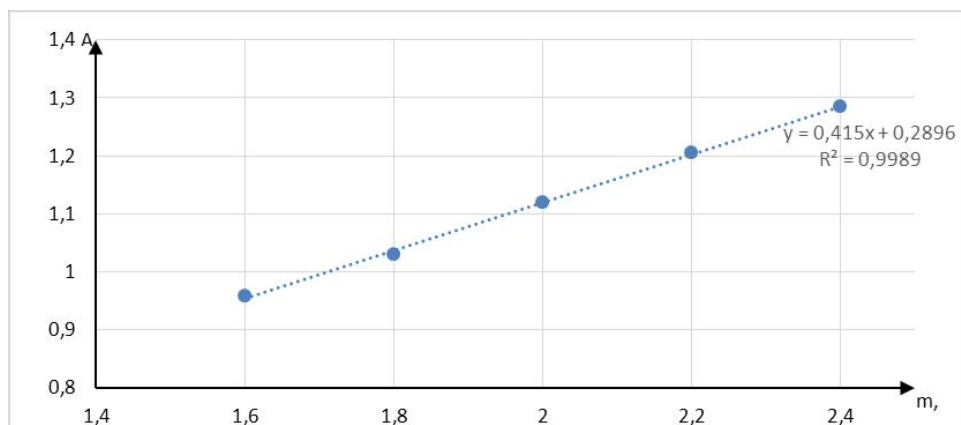


Рис. 1. График зависимости оптической плотности раствора от массы суммы каротиноидов при экстракции этиловым спиртом

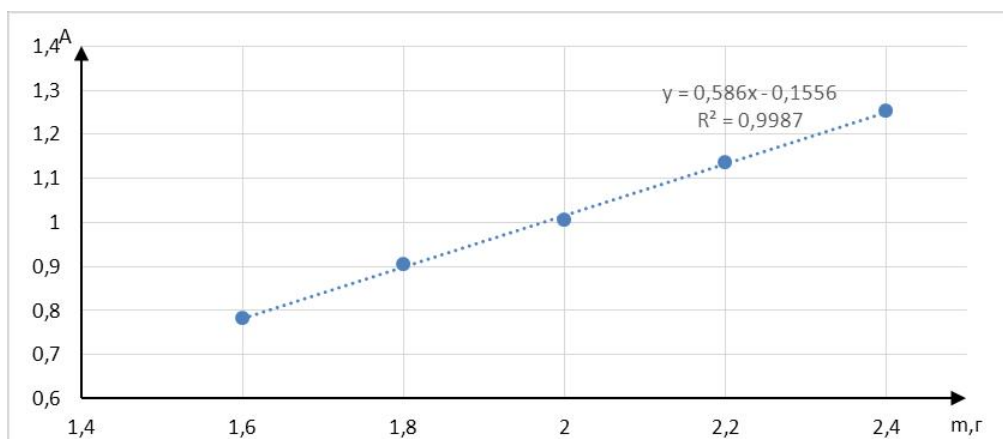


Рис. 2. График зависимости оптической плотности раствора от массы суммы каротиноидов при экстракции гексаном

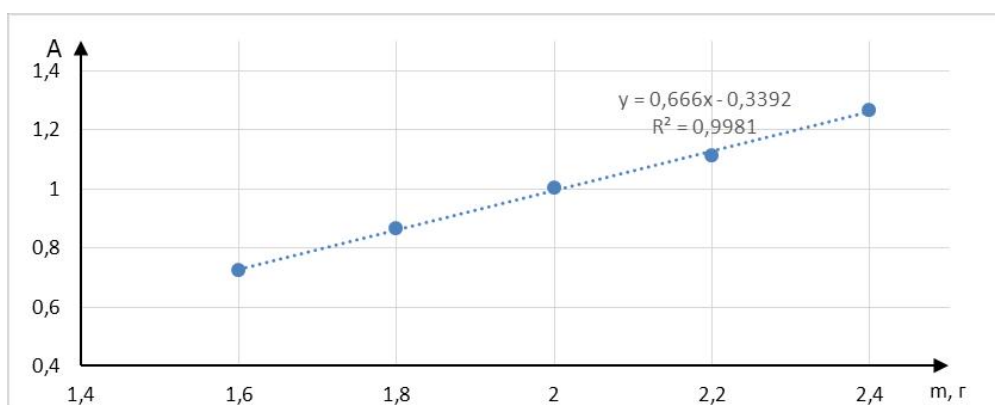


Рис. 3. График зависимости оптической плотности раствора от массы суммы каротиноидов при экстракции ацетоном

Коэффициент корреляции (R), являющийся критерием приемлемости линейности, составил во всех 3 графиках 0,99, что близко к 1 и свидетель-

ствует о линейной зависимости значения оптической плотности от содержания действующих веществ.

При установлении повторяемости проводили пять параллельных определений, затем вычисляли величину среднеквадратичного отклонения (СКО), результаты приведены в таблицах 1–3.

Таблица 1

**Результаты оценки повторяемости методики при экстракции
ЭТИЛОВЫМ СПИРТОМ**

	Навеска 1	Навеска 2	Навеска 3	Навеска 4	Навеска 5
1	0,927	0,986	1,115	1,189	1,262
2	1,029	1,083	1,136	1,207	1,305
3	0,919	1,022	1,107	1,222	1,288
X_{cp}	0,958	1,03	1,119	1,206	1,285
$СКО^2$	0,0013	0,0008	0,0001	0,0001	0,0005
$СКО_1$	0,0237				

Таблица 2

Результаты оценки повторяемости методики при экстракции гексаном

	Навеска 1	Навеска 2	Навеска 3	Навеска 4	Навеска 5
1	0,819	0,931	1,016	1,143	1,287
2	0,768	0,885	1,017	1,166	1,269
3	0,762	0,899	0,981	1,097	1,207
X_{cp}	0,783	0,905	1,005	1,135	1,254
$СКО^2$	0,0003	0,0002	0,0004	0,0012	0,0018
$СКО_2$	0,0279				

Таблица 3

Результаты оценки повторяемости методики при экстракции ацетоном

	Навеска 1	Навеска 2	Навеска 3	Навеска 4	Навеска 5
1	0,685	0,857	1,025	1,157	1,288
2	0,719	0,838	0,965	1,134	1,264
3	0,762	0,898	1,016	1,044	1,238
X_{cp}	0,722	0,864	1,002	1,112	1,264
$СКО^2$	0,0015	0,0009	0,0010	0,0036	0,0006
$СКО_3$	0,0390				

Среднеквадратичное отклонение составило $СКО_1 = 0,0237$; $СКО_2 = 0,0279$; $СКО_3 = 0,0390$. По литературным данным для аналогичных объектов и определяемого показателя значение СКО не должно превышать 5%. Полученные данные не превышают указанное значение, поэтому данная методика работает.

Таким образом, доработанная методика валидирована по следующим показателям: линейность, повторяемость. Результаты показали, что предлагаемая методика правильна и воспроизводима, ее можно использовать для определения содержания β -каротина в растительном сырье.

Библиографический список

1. Курегян А. Г., Печинский С. В. Способ получения каротиноидов из растительного сырья // Современная медицина: актуальные вопросы. 2013. № 21. С. 94–99.
2. Курегян А. Г. Спектрофотометрия в анализе каротиноидов // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–23. С. 5166–5172.
3. Содержание антоциановых и каротиноидных пигментов в лекарственных растениях / П. В. Масленников, Г. Н. Чупахина, Л. Н. Скрыпник, П. В. Федуреаев, Р. Л. Полтавская // Вестник Московского государственного областного университета. 2013. № 1. С. 6.
4. Сливкин А. И., Тринеева О. В. Валидация методики определения каротиноидов в плодах облепихи различными способами консервации // Вестник ВГУ. Серия Химия. Биология. Фармация. 2016. № 2. С. 145–151.

ВАЛИДАЦИЯ МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕТАЛАИНОВЫХ ПИГМЕНТОВ В СВЕКЛЕ

Ю. А. Минеева, Е. С. Соловьёва

Вятский государственный университет, mineevajulia00@mail.ru

Проведена валидация методики количественного определения беталаиновых пигментов в свекле спектрофотометрическим методом по следующим валидационным характеристикам: линейность, повторяемость. По результатам исследования основных валидационных характеристик подтверждается пригодность методики для определения беталаиновых пигментов в свекле.

Ключевые слова: беталаиновые пигменты, свекла столовая.

Беталаиновые пигменты – это натуральные соединения, которые содержатся в корнеплодах и листьях растений, придают им фиолетовую, или красную и желтую окраску. Они обладают антиоксидантными, противораковыми, антилипидемическими и антимикробными свойствами [1].

На данный момент создаются лекарственные препараты, основанные на этих характеристиках. Поэтому фармацевтические компании ищут новые источники сырья для производства биологически активных веществ.

Распространенным и бюджетным источником беталаиновых пигментов является свекла. При исследовании методов можно найти вариант, при котором будет определено максимальное количество пигментов. Для определения содержания беталаиновых пигментов до сих пор не разработаны ГОСТы и фармакопейные статьи, которые бы указывали на точную концентрацию пигментов в сырье. Поэтому, целью данной работы является проведение валидации методики количественного определения беталаиновых пигментов в свекле.

Для валидации были выбраны характеристики: линейность и повторяемость. Определение линейности проводили при 5 навесках в процентных соотношениях 80% – 2,4 г, 90% – 2,7 г, 100% – 3 г, 110% – 3,3 г, 120% – 3,6 г в трех повторностях.

Для опыта взяты корнеплоды свеклы столовой, которые натирали до мелкой консистенции и однородности. Для пробы брали гомогенизированную

навеску сырья. Для получения вытяжек пробы экстрагировали этиловым спиртом 30%, в составе которого 1% лимонной кислоты.

Измерение оптической плотности полученных растворов проводили на спектрофотометре при длине волны 538 нм (максимум абсорбции бетацианинов в расчете на бетанин) [2]. Раствором сравнения был этиловый спирт 30%.

В результате исследования, график (рис.) показывает зависимость оптической плотности от массы навески. Прямая имеет линейный характер, соответствующий уравнению $y=0,0327x+1,729$ ($R^2=0,976$). Коэффициент корреляции составляет $R = 0,9879$.

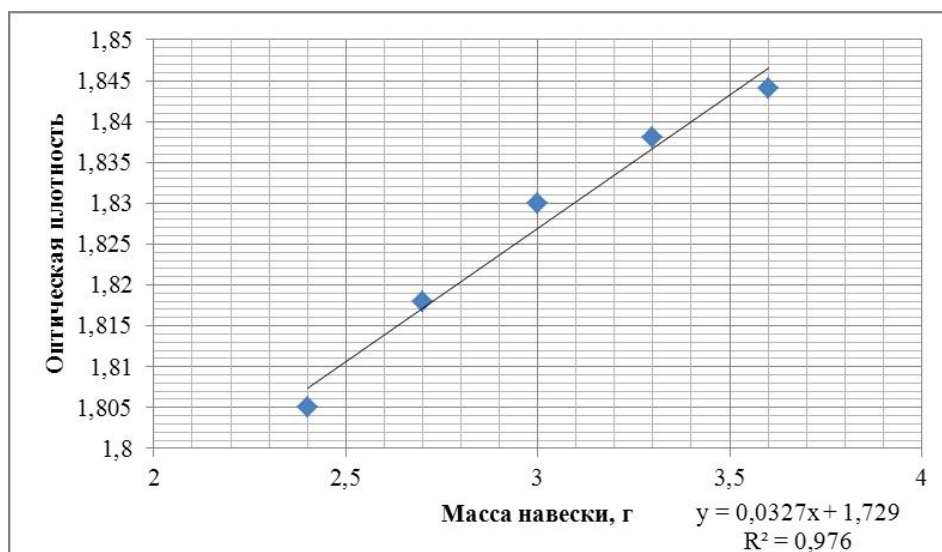


Рис. График зависимости оптической плотности от навески сырья

Таким образом, коэффициент корреляции приближен к единице. Этим можно сказать, что по данному параметру методика выполняется для определения беталаиновых пигментов в свекле.

Для оценки повторяемости брали 5 проб. Определяли среднеквадратичное отклонение (СКО). Результаты приведены в таблице. Литературные данные показывают, что отклонение СКО не должно превышать 5%.

Таблица

Результаты определения повторяемости

	Навеска 1	Навеска 2	Навеска 3	Навеска 4	Навеска 5
1	1,808	1,829	1,832	1,841	1,844
2	1,801	1,811	1,830	1,837	1,843
3	1,805	1,815	1,829	1,836	1,844
Хср	1,805	1,818	1,830	1,838	1,844
СКО ²	$12,5 \cdot 10^{-6}$	$89,5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
СКО	$5 \cdot 10^{-3}$				

Таким образом, полученные значения не превышают 5%. Поэтому методика работает и ее можно использовать.

Подводя итоги, по результатам исследования основных валидационных характеристик: линейность и повторность, – подтверждается пригодность ме-

тодики для определения беталаиновых пигментов в свекле. Данную методику можно использовать при дальнейших экспериментах.

Библиографический список

1. Влияние рН среды на концентрацию беталаиновых пигментов растительного происхождения /Д. И. Валеева, Хожакбархон Саттиходжаев, К. Ю. Швинк, Т. Ю. Гумеров, О. А. Решетник, А. В. Уткин // Научное обозрение. Фундаментальные и прикладные исследования. 2019. № 2. С. 59–67.

2. Тыняная И. И. Разделение, концентрирование и анализ антоцианов и бетацианов в экстрактах растительного сырья с применением оптических и хроматографических методов : дис. ... канд. хим. наук: 02.00.02. Белгород, 2015. 147 с.

СЕКЦИЯ 7 БИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

К ВОПРОСУ О ВОСПРОИЗВОДСТВЕ СТЕРЛЯДИ (*ACIPENSER RUTHENUS*, 1758) В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ВЯТКА

Л. А. Букина, К. А. Култышева
Вятский государственный агротехнологический университет,
l.bukina5@gmail.com, ksushakult@mail.ru

В статье приводятся сведения о мероприятиях, направленных на компенсацию непредотвращаемого ущерба водным биологическим ресурсам, в результате антропогенной деятельности в водных объектах на территории Кировской области.

Ключевые слова: стерлядь – *Acipenser ruthenus*, осетровые, река Вятка, зарыбление, компенсация ущерба, водные биологические ресурсы.

Стерлядь – *Acipenser ruthenus* является одним из и широко распространенных видов семейства осетровых – *Acipenseridae* рыб в пределах Российской Федерации. В соответствии с приказом Минсельхоза от 23 октября 2019 года N 596 «Об утверждении Перечня особо ценных и ценных видов водных биологических ресурсов» (с изменениями на 18 февраля 2020 года) [1] стерлядь относятся к ценным видам водных биоресурсов. В Красную книгу Российской Федерации и Кировской области внесена популяция стерляди верховьев р. Кама – III категория, редкий малочисленный вид [2].

В настоящее время при существенном увеличении антропогенного влияния (браконьерство, загрязнение естественной среды обитания, утрата нерестовых площадей [3]) на численность популяции стерляди в водных объектах Кировской области необходимо осуществление мероприятий по ее искусственному воспроизводству в целях поддержания ее стабильного состояния.

Направлением такой работы является компенсация непредотвращаемого ущерба водным биологическим ресурсам и среде их обитания в результате планируемой хозяйственной деятельности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей в водных объектах рыбохозяйственных значений Кировской области.

Расчет размера вреда водным биологическим ресурсам при планировании хозяйственной деятельности осуществляется по методике определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние

водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния, утвержденных приказом Федерального агентства по рыболовству от 6 мая 2020 г. № 238 [4]. Одним из таких мероприятий является выпуск искусственно выращенной молоди водных биологических ресурсов, в том числе стерляди, в водные объекты.

Хозяйствующие субъекты, планирующие проведение мероприятий по возмещению ущерба водным биологическим ресурсам (компенсационные мероприятия), приобретают молодь рыб у рыболовных предприятий, осуществляющих ее выращивание, и производят выпуск в установленный водный объект.

Зарыбление происходит в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 12 февраля 2014 года № 99 «Об утверждении Правил организации искусственного воспроизводства водных биологических ресурсов» [5] с участием комиссии установленной Росрыболовством, представителей Министерства охраны окружающей среды Кировской области, Камско-Волжского филиала ФГБУ «Главрыбвод», общественных организаций, а также организаций или лиц, которые компенсируют причиненный ущерб водным биологическим ресурсам.

Учет количества водных биологических ресурсов, выпускаемых в водные объекты рыбохозяйственного значения производится на основании Приказа Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 07.05.2015 № 176 «Об утверждении Методики учета водных биологических ресурсов, выпускаемых в водные объекты рыбохозяйственного значения» (Зарегистрирован 22.07.2015 № 38152) [6]. Факт выпуска молоди в водоем оформляется соответствующим Актом выпуска водных биологических ресурсов согласно приказу Федерального агентства по рыболовству от 02.09.2019 г. № 518 [7].

Среди видов рыб, которые допускаются к выпуску в естественную среду, фигурируют такие ценные виды как: лещ – *Abramis brama*, жерех – *Aspius aspius*, судак обыкновенный – *Sander lucioperca*, окунь речной – *Perca fluviatilis*, щука – *Esox lucius* и др. Однако при выполнении компенсационных мероприятий предпочтение отдается стерляди, так как у нее один самых высоких процентов промыслового возврата или «выживаемости». Процент выживаемости молоди колеблется от 5,5 до 12,8% в зависимости от выпускаемых размерно-весовых показателей.

К месту выпуска молодь водных биоресурсов доставляют на специальном автомобиле с емкостью для перевозки живой рыбы, оборудованной устройством с обогащением воды кислородом.

У места выпуска комиссией осуществляется оценка ее жизненного состояния, количество образовавшегося отхода. Перед выпуском в открытый водоем температуру воды в емкости с молодью сравнивают с температурой воды в водном объекте, разница которой должна быть не более 2–3 °С. Это необходимо для того, чтобы рыба не испытала стресса во время перехода в

другую среду обитания. Выпускают молодь через специальный пусковой рукав (рис. 1). Масса каждой особи стерляди составляет не менее 3 г (рис. 2).



Рис. 1. Процесс выпуска молоди стерляди в реку Вятка



Рис. 2. Выпускаемая молодь стерляди в р. Вятка

По информации, предоставленной отделом государственного контроля, надзора и охраны водных биологических ресурсов по Кировской области Средневолжского территориального управления федерального агентства по рыболовству ежегодно с 2017 г. в период с июня по ноябрь в реку Вятка на территории Кировской области осуществляется выпуск молоди стерляди при осуществлении хозяйствующими субъектами компенсационных мероприятий. Хотя единичные выпуски стерляди различными организациями производились уже с 2014 года. Всего с 2017 по 2021 гг. осуществлен выпуск молоди стерляди в целях компенсации ущерба, наносимого водным биологическим ресурсам в количестве 276 908 экземпляров (рис. 3).

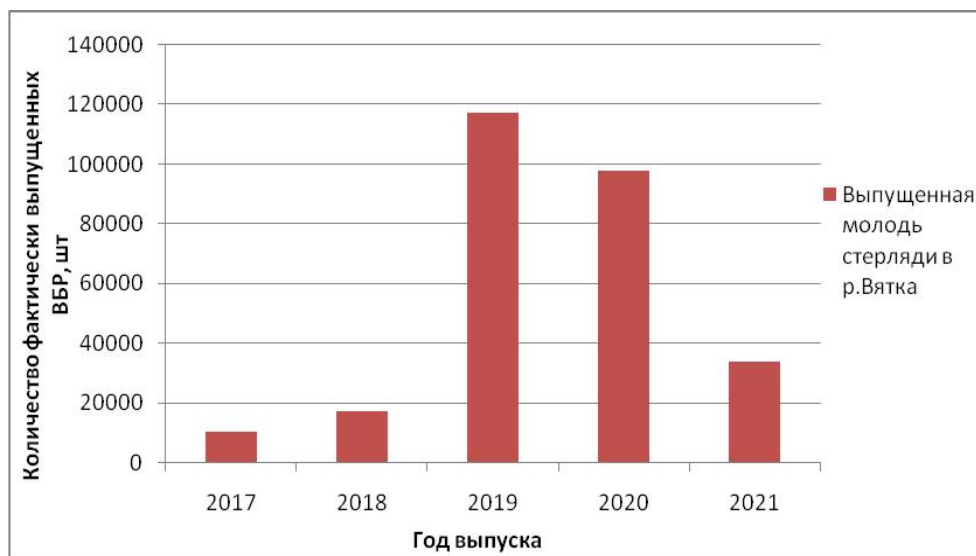


Рис. 3. Реестр выпуска молоди стерляди в реку Вятка

Для обеспечения сохранения генотипа стерляди р. Вятка, поддержания генетического гомеостаза популяций и сведения к минимуму отрицательных

последствий гибридизации для проведения мероприятий по воспроизводству стерляди в р. Вятка следует использовать молодь, полученную в рыбоводных хозяйствах, маточные стада в которых сформированы из особей, отловленных в водных объектах бассейна р. Кама. Нецелесообразно выпускать в р. Вятка молодь стерляди из Обь-Иртышского бассейна (Зауралье), бассейна Волги (Республика Чувашия, Самарская, Саратовская, Московская, Ульяновская области и др.), бассейнов р. Печоры, Сев. Двины и др.

В настоящее время вопрос о сохранении генофонда вятской группировки стерляди остается актуальным. Это связано с тем, что организации, осуществляющие компенсацию должны учитывать, требования контролирующего органа – Росрыболовства.

Таким образом, выпуск жизнестойкой молоди стерляди в целях компенсационных мероприятий должно обеспечить сохранение, а также устойчивое и гарантированное приумножение численности такого ценного представителя семейства осетровых рыб в реке Вятка.

Библиографический список

1. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 23 октября 2019 года N 596 «Об утверждении Перечня особо ценных и ценных видов водных биологических ресурсов» (с изменениями на 18 февраля 2020 года) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/563861243> (дата обращения: 29.03.2022).

2. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы / авторы-составители: д-р биол. наук О. Г. Баранова и др.; редкол.: д-р биол. наук О. Г. Баранова и др. Изд. 2-е. Киров : Кировская областная типография, 2014. 335 с.

3. Волосников Г. И. Обзор данных по биологии стерляди *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758) // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2017. № 2 (64). С. 67–72.

4. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 6 мая 2020 г. N 238 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068800> (дата обращения: 27.03.2022).

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 12 февраля 2014 года N 99 «Об утверждении Правил организации искусственного воспроизводства водных биологических ресурсов» (с изменениями на 30 мая 2020 года) [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499076361> (дата обращения: 24.03.2022).

6. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 07.05.2015 № 176 «Об утверждении Методики учета водных биологических ресурсов, выпускаемых в водные объекты рыбохозяйственного значения» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420275330> (дата обращения: 19.03.2022).

7. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 02.09.2019 г. № 518 «Об утверждении формы акта выпуска водных биологических ресурсов в водные объекты рыбохозяйственного значения» [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/561232585> (дата обращения: 23.03.2022).

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗООПЛАНКТОНА И ЗООБЕНТОСА АКВАТОРИИ САРАЛИНСКОГО УЧАСТКА ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

М. А. Гвоздарева, А. В. Мельникова
Татарский филиал ФГБНУ «ВНИРО»,
rita_6878@mail.ru, d.bugensis@mail.ru

В статье представлены результаты изучения современного состояния зоопланктонного и зообентосного сообществ акватории Куйбышевского водохранилища в районе Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника по данным 2021 г.

Ключевые слова: Куйбышевское водохранилище, Волжско-Камский заповедник, зоопланктон, зообентос, таксономический состав, численность, биомасса.

Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник (ВКГПБЗ) располагается на территории Республики Татарстан (РТ) и относится к особо охраняемым природным территориям федерального значения. Он представлен двумя участками: Саралинский и Раифский [1]. Саралинский участок располагается в южной части Волжско-Камско-Мешинского междуречья [2]. Площадь территории заповедника составляет 5480 га, из которых 1141 га приходится на акваторию Волжско-Камского плеса Куйбышевского водохранилища [2, 3].

Планктонные беспозвоночные являются наиболее динамичными сообществами. Относительно зообентоса они быстро восстанавливаются (особенно в водотоках), иногда с изменением структурных характеристик. Состав зоопланктона, его структура и степень развития определяют интенсивность и направление потоков энергии и веществ в водоемах. Изменения показателей зоопланктона, которые можно наблюдать лишь с течением времени, происходят в результате природных процессов и хозяйственной деятельности человека [4].

Зообентосные организмы являются важными компонентами экосистем водных объектов, так как они принимают участие во многих процессах, происходящих в водоемах (трансформация органического вещества, самоочищение и другие). Однако, распределение их по водоему зависит от многих факторов, например, глубина, колебание уровня воды, тип грунта, зарастаемость и другие [5].

Акватория Куйбышевского водохранилища в районе Саралинского участка ВКГПБЗ испытывает косвенное антропогенное влияние со стороны крупных городов, расположенных выше рассматриваемого участка, а это, возможно, негативно сказывается на сообществах зоопланктона и зообентоса.

Вышеизложенное подтверждает актуальность изучения сообществ беспозвоночных гидробионтов рассматриваемого участка водохранилища.

Целью данной работы было исследование сообществ планктонных и донных беспозвоночных акватории Куйбышевского водохранилища в районе Саралинского участка Волжско-Камского заповедника.

Сбор гидробиологического материала осуществляли в мае, сентябре и октябре 2021 г. в акватории Волжско-Камского плеса рассматриваемого водохранилища на территории Саралинского участка ВКГПБЗ на двух станциях (ст.): ст. 1 – Большая протока (N55°16'21" E49°18'10") и ст. 2 – у левого берега Куйбышевского водохранилища (N55°16'06" E49°15'60"). В качестве основного орудия сбора зоопланктона использовали количественную сеть Джели (диаметр верхнего кольца 12 см) из газа с размером ячеек 96 мкм. Отбор проб осуществлялся тотально – облавливался весь столб воды от дна до поверхности. Собранный зоопланктон фиксировали 40% раствором формалина, из расчета его концентрации в пробе 4%.

Отбор проб зообентоса осуществляли дночерпателем Петерсена (площадь захвата 0,025 м²) по общепринятым стандартным методам в гидробиологии [6, 7]. Отобранный материал фиксировали 96% спиртом. Камеральная обработка проб проводилась в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методами [8–10].

Таким образом, за период проведения исследований на Саралинском участке ВКГПБЗ было отобрано и обработано 6 проб зоопланктона и 12 – зообентоса.

Для оценки состояния сообщества зоопланктона и донных беспозвоночных на рассматриваемом участке заповедника были использованы следующие параметры: количество таксонов в пробе, частота встречаемости (P , %), показатели численности (N) и биомассы (B), индекс разнообразия Шеннона (рассчитанный по численности; H_N), индекс доминирования (Id) [6, 11, 12].

Зоопланктон в Волжско-Камском плесе Куйбышевского водохранилища в районе Саралинского участка ВКГПБЗ в 2021 г. включал 47 таксонов из типов Rotifera (22) и Arthropoda (25). Фауна Rotifera была представлена семью семействами: Asplanchnidae (2), Brachionidae (8), Conochilidae (2), Euchlanidae (1), Filiniidae (1), Synchaetidae (4), Trichocercidae (3) и один вид из отряда Bdelloida. Среди Членистоногих выделяли группы Cladocera (16 видов) и Copepoda (9). Группа ветвистоусых ракообразных была представлена семью семействами: Bosminidae (4), Daphniidae (5), Moinidae (1), Sididae (3), Chydoridae (1), Leptodoridae (1) и Polyphemidae (1). К группе веслоногих ракообразных относились одно подсемейство Cyclopininae (7) из отряда Cyclopiniformes и одно семейство Temoridae (2) из отряда Calaniformes. Таким образом, основу таксономического разнообразия составляли коловратки, на их долю приходилось 60±9 % всех встреченных видов. Вклад Cladocera и Copepoda был несколько ниже (25±7 и 14±5%, соответственно). Удельное видовое разнообразие составило 15±5 вид/станция.

Средняя численность зоопланктона на рассматриваемой акватории водоема составила $148,07 \pm 79,28$ тыс. экз./м³, биомасса – $1,7 \pm 1,0$ г/м³. Вклад коловраток в суммарные показатели плотности равнялся $43 \pm 12\%$ и биомассы – $37 \pm 12\%$, Cladocera – 15 ± 8 и $20 \pm 10\%$, Copepoda – $41 \pm 8\%$ (из них на долю неполовозрелых особей приходилось $36 \pm 8\%$) и $43 \pm 9\%$ ($30 \pm 9\%$) соответственно. Роль велигеров дрейссен была незначительной (менее 1%). Наибольшие показатели индекса доминирования (*Id*) по численности были отмечены у коловратки *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850) (2,88) и ветвистоусого рачка *Bosmina (Bosmina) longirostris* (O.F. Müller, 1785) (2,25). Тогда как по биомассе комплекс доминирующих видов был представлен только *A. priodonta* (3,48).

Индекс видового разнообразия Шеннона в исследуемый период составил $2,46 \pm 0,21$ бит/экз., что говорит о сравнительно невысоком видовом разнообразии на данном участке из-за доминирования нескольких видов по численности.

Зообентос в акватории Саралинского участка ВКГПБЗ в период проведения исследования был представлен 37 таксонами, относящихся к группам: Nematoda, Polychaeta (по 1), Oligochaeta (6), Hirudinea (1), Mollusca (4: Bivalvia и Gastropoda по 2), Hydracarina (1), Crustacea (4: Ostracoda – 1, Cumacea – 2 и Amphipoda – 1) и Insecta (19). Группа насекомых была представлена только отрядом Diptera и 2 семействами (Ceratopogonidae – 1 и Chironomidae – 18). Соответственно, таксономическое разнообразие на этом участке водоема в основном формировали двукрылые насекомые.

Во всех отобранных пробах зообентоса была обнаружена хирономида *Demicryptochironomus vulneratus* Zetterstedt, 1838. К основным видам также были отнесены олигохеты *Limnodrilus* sp. (P=83,3% отобранных проб) и *Limnodrilus claparedeanus* Ratsel, 1868 (66,7%), хирономиды *Procladius choreus* (Meigen, 1804) и *Chironomus f.l. plumosus* L. (по 75,0%) и мокрецы Ceratopogonidae sp. (58,3%). К редким или случайным видам относилась основная масса выявленных таксонов (64,9%), так как их частота встречаемости составила менее 25%. Таким образом, *D. vulneratus* и *Limnodrilus* sp. являлись «константными» таксонами (постоянно или почти постоянно присутствующими), так как их частота встречаемости составила $>75\%$ [6]. Удельное видовое разнообразие составило 10 ± 1 таксонов/проба, максимальное число таксонов в пробе составило 19, а минимальное – 7.

Суммарные количественные показатели численности и биомассы донной фауны на данном участке водохранилища составили 3353 ± 628 экз./м² и $154,8 \pm 130,8$ г/м² соответственно. Основной вклад в показатели численности зообентоса вносили представители групп Oligochaeta (1723 ± 459 экз./м²) и Diptera (1447 ± 222 экз./м²), а по биомассе – моллюски ($143,4 \pm 129,4$ г/м²). Комплекс доминирующих видов по численности, которые вносили существенный вклад в развитие донной фауны, включал *Limnodrilus* sp. (*Id*=4,60), *C. f.l. plumosus* (3,45) и *L. claparedeanus* (1,27), по биомассе – *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758) (1,48) и *C. f.l. plumosus* (1,27).

На рассматриваемых станциях, расположенных на территории заповедника, индекс Шеннона в период проведения исследований в среднем составил $2,55 \pm 0,13$ бит/экз. Данный показатель, как и по зоопланктону, указывает на сравнительно невысокое видовое разнообразие на данном участке из-за доминирования нескольких видов в численности всего зообентоса.

В пространственном отношении наибольшие суммарные количественные показатели зоопланктона и зообентоса наблюдались на ст. 1 (табл.).

Таблица

Пространственное распределение количественных показателей зоопланктона и зообентоса в акватории Саралинского участка ВКГПБЗ в 2021 г.

Станции	Зоопланктона		Зообентос	
	численность, тыс. экз./м ³	биомасса, г/м ³	численность, экз./м ²	биомасса, г/м ²
Ст. 1 (Большая протока)	260,66±133,19	3,25±1,64	4360±966	278,87±261,70
Ст. 2 (левобережье р. Волга)	35,48±31,80	0,23±0,19	2347±631	30,72±25,24

Основной вклад в суммарные количественные показатели зоопланктона на ст. 1 вносили представители типа Rotifera, а на ст. 2 – Cladocera. Среди зообентоса на обеих рассматриваемых станциях наибольшую роль в формировании численности играли представители Oligochaeta и Diptera, а биомассы – моллюски.

В сезонном аспекте высокие показатели плотности и биомассы планктонных беспозвоночных отмечались летом ($269,16$ тыс. экз./м³ и $2,54$ г/м³, соответственно) и весной ($174,79$ тыс. экз./м³ и $2,68$ г/м³), а минимальные – осенью (258 экз./м³ и $0,66 \times 10^{-3}$ г/м³). Максимальное количественное развитие донных беспозвоночных, наоборот, было зафиксировано осенью, так численность находилась на уровне 4730 ± 1073 экз./м², а биомасса – $407,04 \pm 393,45$ г/м². Минимальные количественные показатели зообентоса отмечались в весенний период (1390 ± 271 экз./м² и $8,04 \pm 3,17$ г/м², соответственно), в то время как летом они занимали промежуточное положение (3940 ± 1041 экз./м² и $49,31 \pm 35,97$ г/м²).

По литературным данным в период окончания «гидробиологического лета» (середина сентября) 2018 г. акватория Волжско-Камского плеса Куйбышевского водохранилища в районе Саралинского участка (ВКГПБЗ) характеризовалась высокими количественными показателями зоопланктона и зообентоса. Наибольшая плотность планктонных и донных беспозвоночных наблюдалась на станции Большая протока, в то время как максимальная биомасса отмечалась на левобережье р. Волга (ст. 2). На обеих станциях рассматриваемой акватории водохранилища зоопланктон носил, преимущественно, ротаторный характер, а основную роль в формировании фауны зообентоса играли представители группы Insecta [3].

Мониторинговые исследования в 2021 г. на акватории рассматриваемого участка охватили весь вегетационный сезон. В результате было показано,

что средние количественные показатели зоопланктона и зообентоса находились на достаточно высоком уровне. В пространственном отношении, максимальные значения численности и биомассы обеих групп беспозвоночных фиксировались на ст. Большая Протока. Количественные характеристики донных беспозвоночных в период «гидробиологического лета», как в 2018 г., так и в 2021 г. находились на одном уровне, в пределах ошибки. Численность плавающих беспозвоночных в межгодовом аспекте была практически сопоставима, в то время как биомасса в 2021 г. была выше таковой в 2018 г. почти в 3 раза, за счет массового развития крупных ветвистоусых и веслоногих ракообразных. Следует отметить, что уровень Куйбышевского водохранилища на Жигулевской ГЭС, по данным ДЗО ПАО «РусГидро» [13], осенью 2021 г. составил 50,06 м, в этот же период в 2018 г. – 51,32 м. Возможно, этим объясняются максимальные значения численности и биомассы донной фауны в 2021 г.

Таким образом, акватория Волжско-Камского плеса Куйбышевского водохранилища в районе Саралинского участка ВКГПБЗ характеризуется стабильными количественными показателями сообществ зоопланктона и зообентоса. Можно предположить, что самоочищающаяся способность Куйбышевского водохранилища в районе заповедника, находится на достаточно высоком уровне, что позволяет организмам планктонной и донной фауны находиться в стабильном состоянии в межгодовом отношении. А также фауна представлена в основном видами устойчивыми к изменяющимся условиям существования.

Библиографический список

1. Почвы Саралинского участка Волжско-Камского заповедника / А. Б. Александрова, В. И. Кулагина, В. В. Маланин, А. А. Марасов, Э. Е. Паймикина // Российский журнал прикладной экологии. 2021. № 1. С. 44–51. doi: 10.24411/2411-7374-2020-10040
2. Гидрохимический режим Куйбышевского водохранилища в пределах акватории Саралинского участка Волжско-Камского заповедника / Е. Н. Унковская, М. А. Унковская, Д. В. Иванов, Н. В. Шурмина // Экологические проблемы бассейнов крупных рек – 6 : материалы междунар. конф., приуроченной к 35-летию Института экологии Волжского бассейна РАН и 65-летию Куйбышевской биостанции. Тольятти, 2018. С. 301–303.
3. Летопись природы. Книга 55. 2018 год. пос. Садовый, 2019. 219 с.
4. Бурмистрова О. С. Зоопланктон разнотипных водных экосистем бассейна Верхней Оби : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Новосибирск, 2009. 235 с.
5. Константинов А. С. Общая гидробиология. М. : Высш. шк., 1986. 472 с.
6. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М. : Наука, 1975. 240 с.
7. Методические указания по принципам организации системы наблюдений и контроля за качеством воды водоемов и водотоков на сети Госкомгидромета в рамках ОГСНК. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 40 с.
8. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1982. 33 с.
9. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

10. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

11. Шитиков В. К., Розенберг Г. С. Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

12. Паньков Н. Н. Структурные и функциональные характеристики зообентоценозов р. Сылвы (бассейн Камы). Пермь : Изд-во Перм. гос. ун-та, 2004. 161 с.

13. Уровень воды в Куйбышевском водохранилище сегодня (Жигулевская ГЭС) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.snt-bugorok.ru/level/uroven-vody-v-kuibyshevskom-vodokhranilishche-segodnya-zhigulevskaya-ges#graph> (дата обращения 17.03.2022).

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИИ ЛОСЯ В ОХОТУГОДЬЯХ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

О. А. Греков, А. А. Манаенков

*Российский государственный аграрный заочный университет,
airops@yandex.ru*

Основой определения численности популяции лося в Республике Карелия является зимний маршрутный учет. В статье представлены особенности его проведения в этом регионе, интегрированные результаты за последние годы, анализ динамики численности популяции с учетом организации охоты.

Ключевые слова: лось, популяция, зимний маршрутный учет, Республика Карелия.

Анализ современного состояния популяций охотничьих животных проводится на основе данных их учета разными методами [1], основным из которых выступает зимний маршрутный учет (ЗМУ), порядок которого определен соответствующей Методикой [2].

Республика Карелия располагается на северо-западе России (рис. 1) и обладает сложными природно-климатическими условиями, связанными с сильно пересеченной местностью, с ярко выраженным доминированием денудационно-тектонического типа рельефа с комплексом ледниковых образований холмисто-грядового заболоченного ландшафта и многочисленными водотоками, затрудняющим проведение ЗМУ. Крайне низкий показатель плотности дорог Карелии (от 3–7,4 км / 1000 га в южной части республики до 1,7–3 км / 1000 га в северной части) является причиной труднодоступности в некоторые части территории охотхозяйств или районов, что так же затрудняет проведение ЗМУ.

В этом регионе наблюдается достаточно высокая сезонная миграционная активность лося, что требует более тщательного осуществления учета, т. к. задача количественной оценки мигрирующих лосей, в конечном итоге, переходит из разряда частного и регионального характера в категорию основ-

ных – системных для управления популяциями лося задач, в пределах всего региона.

На наш взгляд, существующая на сегодняшний день оценка численности и добычи далека от истины, чему в большей мере способствуют стабильная недооценка смертности от браконьерства и несовершенство метода мониторинга, при котором популяция лося не контролируется в бесснежный период, когда пространственное распределение животных стационарно и отражает истинное состояние численности на территории Карелии.



Рис. 1. Территория Республики Карелия

На состояние популяции лося в этом регионе, и в первую очередь ее численности, влияет ряд факторов, основными из которых выделяются трофический, удовлетворение потребностей для размножения вида в одной части и переживания неблагоприятных ситуаций в другой, фактор беспокойства из-за проведения всех видов охот.

Анализируя кормовую базу лося региона можно сделать вывод, что совокупность климатических и почвенно-гидрологических условий территории Карелии изменяется в направлении с юга на север, где наблюдаются неблаго-

приятные условия для развития растительных группировок. Уменьшение минерального богатства и мощности почвы, понижение температуры воздуха, снижение аэрации почвы ограничивают распространение продуктивных лесов в северном направлении. Пересеченный рельеф, связанный с чередованием впадин и относительно высоких гряд, в большинстве своем вытянутых с северо-запада на юго-восток влияет на распределении солнечной радиации. По этой причине юго-западные и западные склоны получают больше солнечного тепла и наиболее благоприятны для развития растительных группировок. Весной, на хорошо прогреваемых склонах, раньше, чем на других местах, начинают вегетировать травы и появляется листва на деревьях и кустарниках, что привлекает лосей в весеннее время и в начале лета. Такие природные особенности Карелии влияют на определенные станции и преобладающие направления перемещений лосей.

Таким образом, формируются летние местообитания лося, расположенные преимущественно в ландшафтах с низкоярусной лиственной растительностью. Здесь происходит нагул, размножение, отел и выкармливание молодняка. Привязанность лося к большим водоемам, к сырым топким местам – одна из особенностей экологии лося, определяющая летнее стациональное распределение. В конце мая лоси появляются на обширных открытых болотах и держатся там до начала зимы. Болота и заболоченные участки привлекают лося, прежде всего, неограниченными запасами очень важных для него таких кормов, как вахта, белокрыльник, таволга, хвоши и другие болотные травы, кустарники и ивняки. По описанным выше причинам эмиграция из летних станций в начале зимы происходит вследствие снижения доступности кормов, уменьшения защитных и маскирующих свойств, уязвимости животных от охоты. Переселение лосей на участки с меньшей интенсивностью преследования – способ минимизации воздействия негативных факторов зимнего периода, а возвращение весной в знакомые летние станции – это подтверждение высокой биологической роли участков летнего и зимнего обитания в обеспечении успешного существования животных данного вида [3].

Сплошные вырубки лесов, охватившие значительную часть сосняков и ельников еще с 2009 г., поспособствовали постоянному присутствию лосей в этих угодьях, а в отдельные годы и концентрация в них животных. При этом постепенное смещение лесоразработок способствовало перемещению лося в направлении движения лесосек, т. к. зарастающие вырубки используются лосем в качестве кормовых станций в течение 3–15 лет. Обилие веточных кормов, главным образом, побегов и ветвей сосны, привлекают лосей в район вырубок, где они кормятся и отдыхают.

Вышеперечисленные факторы обуславливают проявление высокой миграционной активности группировок лося. Преобладающие направления их перемещений формируются в зависимости от особенностей рельефа (чередование впадин и относительно высоких гряд, в большинстве своем вытянутых с северо-запада на юго-восток), приуроченности к крупным водоемам, а так-

же интенсивностью лесоразработок и неравномерной нагрузкой проводимых охот на территории отдельных охотхозяйств.

Результаты проведенных учетов лося в предыдущие годы (табл. 1, рис. 2) показывают, что в целом численность популяции лося в Республике Карелия по официальным данным [4] стабилизирована.

Таблица 1

Данные о численности лося (тыс. особей) по Республике Карелия

Вид охотничьего вида	2017	2018	2019	2020
Лось	19,48	19,45	20,87	18,83

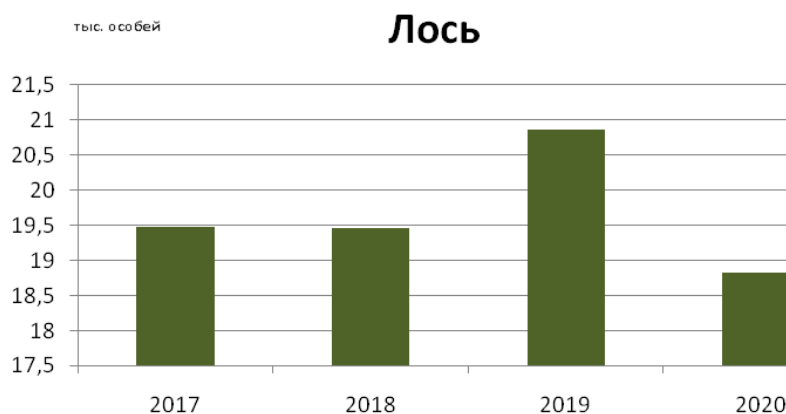


Рис. 2. Численность популяции лося в Республике Карелия по годам (данные по охотхозяйственному реестру)

Организация охоты по законному изъятию этого вида проводится строго с разработанными лимитами и квотами [5] и не приводит к снижению общей численности популяции (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2

Данные по добыче лося (особей) в Республике Карелия

2017		2018		2019		2020	
Лимит	Добыча	Лимит	Добыча	Лимит	Добыча	Лимит	Добыча
1012	770	248	203	1056	767	1003	701

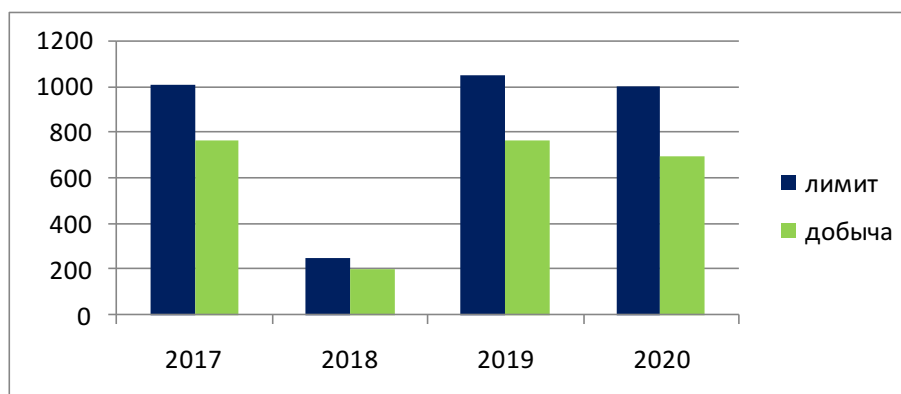


Рис. 3. Соотношение лимита на изъятия лося и его добычи

Как видно из рисунка 3 ежегодно выделяемые лимиты добычи, в пределах 5% от численности популяции, осваиваются всего лишь на 70% (недопромысел). Низкий лимит, незначительная, мало меняющаяся по годам величина фактической добычи (3,6%), отсутствие изменений среды обитания катастрофического характера, все это указывает на благополучное состояние популяции. Но наблюдаемые в ряде районов резкие изменения численности по годам (до 51%) (табл. 1) и резкий спад в целом по республике в 2020 г. (рис. 2) противоречат этой концепции, что позволяет нам с уверенностью говорить либо о повышенной интенсивности миграций лося, либо о неадекватности учета.

Выводы: 1. При проведении (проектировании) ЗМУ в Республике Карелия необходимо учитывать сложные природно-климатические условия, отсутствие развитой дорожной инфраструктуры, наличие труднодоступных для учета районов.

2. Из-за многоснежья в конце зимнего периода, когда проводится ЗМУ, активность зверей минимальна, а суточные переходы измеряются сотнями метров. Это снижает объективность получаемых данных о численном составе местных группировок лося и требует применение других доступных методов учета, в т.ч. и авиаучета.

Библиографический список

1. Кузякин В. А. Учет численности охотничьих животных. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2017. 320 с.

2. Методика учета численности охотничьих ресурсов методом зимнего маршрутного учета. Приложение к приказу ФГБУ «ФЦПРОХ» от 24.11.2021г. № 86. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.mnr.gov.ru/docs/metodicheskie_dokumenty/ (дата обращения: 28.02.2022).

3. Глушков В. М. Влияние лесохозяйственной деятельности на кормовые свойства угодий и сезонное размещение лосей // Влияние антропогенной трансформации ландшафта на население наземных позвоночных животных : тезисы Всесоюзного совещания. Ч. 1. М., 1987. С. 164–166.

4. Сводные данные государственного охотхозяйственного реестра 2016–2020 гг. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mcx.karelia.ru/> (дата обращения: 28.02.2022).

5. Численность охотничьих ресурсов и данные по добыче лося (особей) по Республике Карелия за 2016–2020 гг. [Электронный ресурс]. – URL: <http://service.karelia.ru/> (дата обращения: 28.02.2022).

**ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ
АКТИВНОСТИ ТАЕЖНОГО КЛЕЩА *IXODES PERSULCATUS*
(ACARI: IXODINAE) В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ
РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

*Е. В. Данилова*¹, *Е. В. Панюкова*¹, *Н. П. Селиванова*¹, *А. Б. Грицай*²
¹ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
danilova@ib.komisc.ru, panjukova@ib.komisc.ru, selivanova@ib.komisc.ru
² ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Коми»,
virus11fbuz@yandex.ru

Приведены данные эксперимента по изучению связи температуры почвы и воздуха с активностью таежного клеща *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930. Показана возможность использования температурных характеристик для определения начала активности иксодовых клещей и своевременной организации акарицидных обработок территорий.

Ключевые слова: *Ixodes persulcatus*, Республика Коми, почвенно-климатические механизмы регуляции, акарицидные обработки.

Иксодовые клещи – активные переносчики целого ряда опасных заболеваний человека и животных. На территории Республики Коми клещи могут переносить следующие инфекции: вируса клещевого энцефалита, вируса лихорадки Западного Нила, *Borrelia* sp., *Rickettsia* sp., *Ehrlichia* sp., *Babesia* sp., *Bartonella* sp., *Anaplasma* sp. [1]. Ранее нами были намечены перспективные направления исследований иксодовых клещей на территории Республики Коми, в числе которых – оценка влияния параметров среды обитания клещей рода *Ixodes* [2]. Важнейший переносчик наиболее опасных для человека патогенов (клещевого энцефалита и иксодового клещевого боррелиоза), а также наиболее массовый вид иксодид на территории региона – таежный клещ *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930. В последние несколько лет отмечается устойчивая тенденция проникновения иксодовых клещей на север таежной зоны Республики Коми [3] и, соответственно, возможного распространения переносимых ими заболеваний. По данным прогнозного моделирования для территории Европейской части России показано, что к концу XXI века таежный клещ может заселить практически весь север [4].

Цель нашей работы – выяснение почвенно-климатических механизмов регуляции активности *I. persulcatus* на северной периферии ареала вида. Основная задача данной работы – выявление зависимости активности имаго *I. persulcatus* от температуры почвенной подстилки и почвы в средней подзоне тайги Республики Коми.

Для проведения исследований выбрана антропогенно-трансформированная территория, ранее не подвергавшаяся акарицидным обработкам, расположенная в среднетаежной подзоне Республики Коми, в окрестностях

г. Сыктывкара (61.647688 с.ш., 50.728920 в.д.). До проведения наблюдений на выбранной территории регистрировали единичные случаи нападения клещей на человека в течение последних нескольких лет, начиная с 2005 г. Сбор клещей проводили на маршрутах, заложенных в трех типах биотопов: открытых (луг), полуоткрытых (кустарник), закрытых (лес) в период с 23 апреля по 22 сентября 2021 г. с периодичностью 1–6 дней, в зависимости от фазы активности клещей. Длина учетных маршрутов составляла около 1 км, общая протяженность – более 20 км. Использовали классические методы сбора клещей: на флаг, пропашник и ручной сбор с домашних животных и человека [5]. В период проведения учетов в каждом из биотопов фиксировались следующие температурные показатели: подстилки на глубине 2–5 см, почвы на глубине 10 см, воздуха на высоте 1 м над поверхностью почвы. Видовую принадлежность иксодид определяли по морфологическим ключам Н. А. Филипповой [6].

В весенне-осенний период 2021 г. при проведении учетов собрано 19 имаго клещей. Предимагинальные стадии клещей – не отмечались. Все отловленные особи принадлежали к виду *I. persulcatus*. Наибольшее количество экземпляров отловлено на пропашник/флаг в открытом луговом биотопе – 13 экземпляров. В полуоткрытом кустарниковом биотопе поймано четыре особи, в закрытом лесном биотопе – две. В лесном биотопе клещи обнаруживались только при ручном сборе, на учетчиках. Так же, при ручном сборе найдены клещи на домашних животных (крупная собака, постоянно обитавшая в районе исследований). Два присосавшихся клеща были сняты с собаки 14 мая и к моменту обнаружения питались уже несколько дней. Для 17 из отловленных и двух снятых с собаки клещей проведен молекулярно-генетический анализ (на базе ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Коми») на наличие вирусов: клещевого энцефалита, иксодового клещевого боррелиоза, гранулоцитарного анаплазмоза человека, моноцитарного эрлихиоза человека. Указанные патогены не обнаружены.

Период наблюдений на экспериментальном участке характеризовался следующими температурными показателями и фенологическими явлениями. В последней декаде апреля на затененных участках в кустарниковых и лесных биотопах лежал снег. Почва была сильно обводнена, ее температура на глубине 10 см составляла: в лесу – 3,5 °С, в кустарнике – 1,5 °С, на лугу – 7,5 °С выше нуля градусов. Активных клещей в апреле не обнаружено. В мае наибольшая активность была зарегистрирована во второй и третьей декаде месяца, когда было отловлено 15 особей (79% от всех отловленных особей). Первые встречи клещей во всех типах биотопов приходились на 17 мая при следующих показателях: в луговом биотопе температура подстилки составляла 17 °С, почвы – 15 °С выше нуля, в кустарниковом биотопе – 16 °С / 14 °С соответственно. В лесном биотопе в этот период температура подстилки и почвы была также положительной, но на несколько градусов ниже: 13 °С и 12 °С соответственно. В июне клещи на учетных маршрутах встречались до конца первой декады месяца: в луговом биотопе до 7 июня (при температуре

подстилки – 24 °С, почвы – 16 °С выше нуля); в кустарниковом биотопе до 3 июня (при температуре подстилки – 16 °С, почвы – 15 °С выше нуля), в лесном биотопе до 10 июня (при температуре подстилки и почвы – 13 °С выше нуля; при ручном сборе). В июле, августе, сентябре клещи при проведении учетов не обнаружены. В целом, можно отметить, что в 2021 г. начало периода активности *I. persulcatus* на исследуемом участке пришлось на первую декаду мая, пик активности наблюдался во второй и третьей декаде мая с постепенным угасанием к концу первой декады июня. Второго (осеннего) пика активности не выявлено. Анализ динамики температуры почвы и воздуха на экспериментальном участке в период пика активности имаго *I. persulcatus* показал, что оптимальными условиями для клещей были положительные температуры в подстилке – 16,5 °С, в почве – 14,3 °С, в воздухе – 18,5 °С.

Являясь частью фауны городов и пригородных областей иксодовые клещи, обладающие высокой патогенностью, представляют угрозу для безопасного проживания людей [7], что обуславливает необходимость проведения акарицидных обработок в зонах высокого риска заражения населения: мест массового отдыха людей, летних оздоровительных лагерях, прилегающих территорий детских образовательных учреждений, детских оздоровительных учреждений, территорий кладбищ и др. Такие обработки проводятся в Республике Коми на эндемичных по клещевому энцефалиту территориях, однако, сроки их проведения не всегда соответствуют началу активности иксодовых клещей. Так, в 2021 г. акарицидные обработки на территории г. Сыктывкара были начаты во второй половине мая, уже после обращений горожан с клещевыми укусами в травматологические пункты [8]. По данным наших исследований начало активности таежного клеща в 2021 г. в окрестностях г. Сыктывкара зафиксировано в конце первой – начале второй декады мая, т.е. ранее начала проведения обработок. Считаем, что проведение обработок территорий акарицидными препаратами должно быть научно-обоснованным. Выявление закономерностей почвенно-климатических механизмов регуляции активности *I. persulcatus* позволит прогнозировать сроки выхода имаго, личинок и нимф клещей после зимней диапаузы, и даст возможность разработки рекомендаций для своевременной организации акарицидных обработок территорий на северной периферии ареала вида.

Авторы выражают благодарность Л. А. Григорьевой – ведущему научному сотруднику лаборатории паразитологии ЗИН РАН и Г. А. Луниной – энтомологу ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. СПб» за помощь в освоении методик определения иксодовых клещей.

Исследование выполнено 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» № 1021051101423-9-1.6.12;1.6.13;1.6.14.

Библиографический список

1. Выявление возбудителей заболеваний в *Ixodes persulcatus* на территории Республики Коми / Л. И. Глушкова, И. В. Корабельников, В. А. Терновой, Е. В. Протопопова, Т. П. Микрюкова, Ю. В. Кононова, С. Н. Коновалова, Н. Л. Тупота, М. Ю. Карташов, Е. В. Чаусов, В. Б. Локтев, Ю. И. Егорова // Сибирский медицинский журнал. 2012. Т. 111. № 4. С. 88–91.
2. Панюкова Е. В., Селиванова Н. П., Данилова Е. В. Перспективы исследований клещей рода *Ixodes* в Республике Коми // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: г. Киров, 25 ноября 2021 г. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 66–68.
3. Гнатив Б. Р., Токаревич Н. К. Результаты многолетнего мониторинга за клещевым вирусным энцефалитом и клещевым боррелиозом в Республике Коми // Инфекция и иммунитет. 2021. Т. 11. № 4. С. 707–722. doi: 10.15789/2220-7619-ROL-1299.
4. Попов И. О., Семенов С. М., Попова Е. Н. Оценка климатогенной угрозы распространения таежного клеща *Ixodes persulcatus* на территории России и соседних стран в начале XXI века // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 231–237. doi: 10.31857/S2587556621020138.
5. Колонин Г. В., Киселев А. Н., Болотин Е. И. Опыт абсолютного учета пастбищных иксодовых клещей (Parasitiformes, Ixodidae) на восточном макросклоне Сихотэ-Алиня // Паразитология. 1975. Т. 9. № 5. С. 419–424.
6. Филиппова Н. А. Фауна СССР. Паукообразные. Т. 4. Вып. 4. Иксодовые клещи подсемейства Ixodidae. Л. : Наука, 1977. 396 с.
7. Многолетний мониторинг численности опасных для человека иксодовых клещей *Ixodes persulcatus* и *I. ricinus* (Acari: Ixodinae) на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области / Л. А. Григорьева, Е. П. Самойлова, А. О. Шапарь, Е. М. Бычкова, Г. А. Лунина, Т. А. Полозова, И. А. Чмырь, И. В. Горбунова, А. В. Заболотнов, О. А. Историк, Е. А. Михайлова // Паразитология. Т. 54. № 1. С. 13–24.
8. В Сыктывкаре стартовала противоклещевая обработка общественных пространств [Электронный ресурс]. – URL: <https://сыктывкар.рф/administration/upravlenie-informatsii-i-organizatsionnoj-raboty/novosti/51332-v-syktvyvkare-startovala-protivokleshchevaya-obrabotka-obshchestvennykh-prostranstv> (дата обращения: 31.03.2022).

НЕЙРОТОКСИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ *ALLIUM SATIVUM* НА ОРГАНИЗМЫ СВОБОДНОЖИВУЩИХ ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД *CAENORHABDITIS ELEGANS* ЛИНИЙ N2 И IPE1

А. В. Егорова, А. Ф. Гатиятуллина, Т. Б. Калининкова
Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, tbkalinnikova@gmail.com

Показано, что сок чеснока *Allium sativum* усиливает токсическое действие антигельминтного препарата левамизола на организм почвенной нематоды *Caenorhabditis elegans*. *C. elegans* линии IPE1 с низкой теплоустойчивостью поведения более чувствительны к токсическому действию сока *A. sativum*, чем нематоды линии дикого типа N2.

Ключевые слова: *Allium sativum*, антигельминтные препараты, *Caenorhabditis elegans*, левамизол, никотиновые рецепторы ацетилхолина

Гельминтозы являются широко распространенными заболеваниями человека и животных. По оценкам Всемирной организации здравоохранения от различных гельминтозов страдает не менее двух миллиардов человек. Ежегодный ущерб животноводству, причиняемый гельминтами, оценивается в несколько миллиардов долларов США [1]. Гельминты вызывают поражения глаз, сердечно-сосудистой, пищеварительной и дыхательной системы человека и животных. У пораженных гельминтами животных снижается иммунитет, что делает их более восприимчивыми к другим инфекциям. У таких животных почти на 10% снижается вес, а смертность возрастает более чем на 28% [2–3]. В настоящее время для профилактики и лечения гельминтозов у человека и животных используют синтетические лекарственные препараты [2]. Недостатком этих препаратов является быстрое приобретение паразитами устойчивости к ним [4]. Для решения проблемы лекарственной устойчивости гельминтов постоянно разрабатываются новые антигельминтные препараты. В связи с этим актуальным становится выбор модельных организмов для быстрой оценки биологической активности новых препаратов и их совместимости с уже применяемыми лекарствами. В Российской Федерации при разработке новых лекарственных средств оценка их эффективности проводится в соответствии с Руководством по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ [5]. Описанные в Руководстве методы изучения антигельминтной активности веществ предусматривают выращивание в лабораторных условиях паразитических нематод, заражение ими теплокровных животных с последующим подсчетом количества погибших гельминтов и их яиц в экскрементах, а также анализ внутренних органов умерщвленных животных [5]. Такой регламент сопряжен с серьезными опасностями для персонала, контактирующего с инвазионными формами гельминтов. Стоимость этих исследований высока из-за использования теплокровных животных, а результата приходится ждать несколько недель и даже месяцев. Многие зарубежные фармацевтические компании для первичного скрининга потенциальных лекарственных веществ и последующего изучения их биологической активности в настоящее время успешно используют свободноживущую почвенную нематоду *Caenorhabditis elegans*. Преимуществами этой нематоды являются безопасность для исследователей, простота и дешевизна выращивания в лаборатории, быстрая смена поколений (*C. elegans* достигают половой зрелости за три дня) и высокая плодовитость (до 300 потомков у одного гермафродита). Общий план строения тела, сходство биологии, физиологии и, особенно, нейробиологии, позволяет экстраполировать результаты, полученные в экспериментах с *C. elegans*, на паразитических нематод [2–3, 6]. Благодаря наличию большого количества мутантных линий *C. elegans* исследователи имеют возможность сравнивать биологическую активность веществ с одинаковым механизмом действия на организм, а также

выявлять наличие кросс-резистентности к лекарственным препаратам. Нами путем искусственного отбора в лаборатории была получена линия *C. elegans* IPE1 с низкой, по сравнению с линией дикого типа N2, теплоустойчивостью поведения [7]. Ранее нами было показано, что линия IPE1 обладает более высокой чувствительностью к этанолу и его первому метаболиту ацетальдегиду, чем линия N2 [8]. В этой работе рассматривается возможность использования линии IPE1 для оценки биологической активности синтетических нематоцидов и веществ природного происхождения.

В работе использованы две линии *C. elegans*: линия дикого типа N2, предоставленная Caenorhabditis Genetics Center и линия IPE1, полученная из линии N2 путем отбора особей с низкой термотолерантностью поведения. Нематод выращивали при 22°C на среде выращивания, содержащей 17 г/л бактоагара, 2,5 г/л пептона, 50 мМ NaCl, 1 мМ MgSO₄, 1 мМ CaCl₂, 5 мг/л холестерина, 25 мМ калийфосфатного буфера (pH 6,0). Для кормления нематод использовали штамм *E. coli* OP50 [9]. Эксперименты проводили с нематодами двухдневного возраста, инкубированными в NG буфере (50 мМ NaCl, 1 мМ MgSO₄, 1 мМ CaCl₂, 25 мМ калийфосфатного буфера (pH 7,0)) [9]. Для каждого эксперимента нематод трижды отмывали NG буфером от среды выращивания, бактерий и метаболитов и рассаживали индивидуально в стаканчики диаметром 10 мм, содержащие по 1 мл NG буфера. После этого в стаканчики добавляли исследуемые вещества и оценивали их влияние на поведение нематод. Критериями токсического действия веществ на *C. elegans* служили два показателя: нарушения моторной программы плавания нематод, индуцированного механическим стимулом (отсутствие координации локомоторных мышц, необходимой для синусоидальных движений тела при плавании), и паралич нематод (полная потеря способности к плаванию после механического стимула). Нарушения поведения нематод фиксировали при помощи стереоскопического микроскопа SMZ-05 через 30, 60 и 90 минут инкубации с токсикантами. В качестве токсикантов использовали агонист никотиновых рецепторов ацетилхолина левамизол и сок чеснока *Allium sativum*. Сок *A. sativum* отжимали вручную из измельченных луковиц через фильтр из мельничного газа с диаметром ячеек 35 мкм. Сок хранили при -18 °С и размораживали при комнатной температуре непосредственно перед экспериментом. Эксперименты проводили в трех повторностях с использованием 30 нематод в каждом варианте. Статистическую обработку результатов проводили с использованием углового преобразования Фишера ϕ^* .

Для лечения гельминтозов у человека и животных используют агонисты никотиновых рецепторов ацетилхолина [2, 6, 10]. Один из таких агонистов, левамизол, в диапазоне концентраций 15–120 мкМ в наших экспериментах вызывал нарушения поведения у нематод обеих линий. При этом *C. elegans* линии IPE1 были более чувствительны к токсическому действию левамизола, чем нематоды линии N2 (табл.). Левамизол в концентрации 30 и 120 мкМ вызывал нарушения моторной программы плавания соответственно у 25 и 100% нематод линии N2 после 30-минутной инкубации. У *C. elegans* линии IPE1

нарушения поведения выявлялись через 30 минут уже при концентрации левамизола 15 мкМ, а при концентрации 120 мкМ у 12,5% нематод этой линии наступал паралич. Увеличение времени экспозиции к левамизолу до 90 минут приводило к нарушениям поведения (потеря координации локомоторных мышц и паралич) у 100% нематод обеих линий. При этом у 87,5–100% нематод линии IPE1 наступал паралич. У *C. elegans* линии N2 паралич наступал только при концентрации левамизола 120 мкМ (табл.).

Таблица

Токсическое действие сока *Allium sativum* и левамизола на организм *Caenorhabditis elegans*

Условия эксперимента	Доля нематод с нормальным поведением, %		Доля нематод с нарушениями моторной программы плавания, %		Доля нематод, у которых наступил паралич, %	
	N2	IPE1	N2	IPE1	N2	IPE1
	После 30-минутной инкубации					
15 мкМ левамизол	100	12,5±4,6	0	87,5±4,6	0	0
30 мкМ левамизол	75,0±7,0	0	25,0±7,0	100	0	0
120 мкМ левамизол	0	0	100	87,5±4,6	0	12,5±4,6
10% сок <i>A. sativum</i>	100	0	0	100	0	0
10% сок <i>A. sativum</i> +15 мкМ левамизол	87,5±4,6	0	12,5±4,6	87,5±4,6	0	12,5±4,6
10% сок <i>A. sativum</i> +30 мкМ левамизол	75,0±7,0	0	25,0±7,0	12,5±4,6	0	87,5±4,6
10% сок <i>A. sativum</i> +120 мкМ левамизол	0	0	100	0	0	100
	После 90-минутной инкубации					
15 мкМ левамизол	0	0	100	12,5±4,6	0	87,5±4,6
30 мкМ левамизол	0	0	100	12,5±4,6	0	87,5±4,6
120 мкМ левамизол	0	0	25,0±6,1	0	75,0±6,1	100
10% сок <i>A. sativum</i>	87,5±4,6	0	12,5±4,6	37,5±6,8	0	62,5±6,8
10% сок <i>A. sativum</i> +15 мкМ левамизол	0	0	100	0	0	100
10% сок <i>A. sativum</i> +30 мкМ левамизол	0	0	100	0	0	100
10% сок <i>A. sativum</i> +120 мкМ левамизол	0	0	12,5±4,6	0	87,5±4,6	100

Одним из путей преодоления лекарственной устойчивости гельминтов может быть использование экстрактов и соков растений *per se* либо в сочетании с синтетическими препаратами. Одним из растений, с давних времен используемых в народной медицине для лечения гельминтозов, является чеснок *A. sativum*. Сок *A. sativum* в концентрации 10% не оказывал токсического действия на нематод линии N2 после 30-минутной инкубации и вызывал нарушения плавания у 100% нематод линии IPE1. После 90-минутной экспозиции к соку *A. sativum* появлялись нарушения моторной программы плавания у

12,5% нематод линии N2 и 37,5 % нематод линии IPE1. При этом у 62,5% нематод линии IPE1 наступал паралич (табл.).

Помимо токсического действия на организмы нематод сок *A. sativum* усиливал негативное действие левамизола на поведение *C. elegans*. Если при действии левамизола в концентрации 15 мкМ в течение 30 минут нормальное поведение сохранялось у 100% нематод, то при совместном действии сока *A. sativum* и левамизола доля нематод с нормальным поведением уменьшалась до 87,5% (табл.). Увеличение времени совместного действия левамизола и сока *A. sativum* до 90 минут приводило к нарушениям поведения 100% нематод линии N2, причем у 87,5% нематод при концентрации левамизола 120 мкМ наступал паралич (табл.). Сок *A. sativum* усиливал негативное действие левамизола и на поведение нематод линии IPE1, увеличивая как долю нематод с нарушениями моторной программы плавания, так и долю *C. elegans*, у которых наступил паралич (табл.).

Известно, что механизмом нарушения левамизолом моторной программы плавания *C. elegans* является гиперактивация никотиновых рецепторов ацетилхолина в системе нейронов, регулирующих локомоцию, или в мышцах тела [11]. Ранее нами было показано, что компоненты сока *A. sativum* повышают чувствительность никотиновых холинорецепторов *C. elegans* линии N2 к действию их агонистов [12]. Результаты этой работы показывают более высокую чувствительность никотиновых холинорецепторов к токсическому действию левамизола, сока *A. sativum* и их совместному действию у *C. elegans* линии IPE1 по сравнению с нематодами линии дикого типа N2. Различия чувствительности никотиновых холинорецепторов могли появиться в ходе отбора на низкую теплоустойчивость поведения. Более высокая, по сравнению с линией N2, чувствительность никотиновых холинорецепторов нематод линии IPE1 позволяет использовать эту линию для оценки биологической активности веществ, потенциальными мишенями действия которых являются никотиновые холинорецепторы.

Библиографический список

1. Современные представления о лечении и диагностике гельминтозов / И. Л. Клярская, И. А. Вильцанюк, Е. И. Григоренко, С. Н. Чернуха // Крымский терапевтический журнал. 2010. № 2. С. 144–147.
2. Holden-Dye L., Walker R. J. Anthelmintic drugs and nematicides: studies in *Caenorhabditis elegans* // Wormbook, ed. The *C. elegans* Research Community. 2014 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.wormbook.org> (дата обращения 22.03.2022). doi: 10.1895/wormbook.1.143.2
3. Potential of herbal constituents as new natural leads against helminthiasis: A neglected tropical disease / K. D. Patil, S. B. Badage, S. R. Sharma, K. V. Hatware // Asian Pacific Journal of Tropical Medicine. 2019. Vol. 12. No. 7. P. 291–299. doi: 10.4103/1995-7645.262072
4. Shalaby H. A. Anthelmintic resistance; how to overcome it? // Iranian J. Parasitol. 2013. Vol. 8. P. 18–32.
5. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ / под общей ред. Р. У. Хабриева. М. : ОАО «Издательство «Медицина», 2005. 832 с.

6. Dent J. A. What can *Caenorhabditis elegans* tell us about nematocides and parasites? // Biotechnol. Bioprocess Eng. 2001. Vol. 6. P. 252–263. doi: 10.1007/bf02931986
7. Характеристика новых линий *Caenorhabditis elegans* с высокой и низкой термотолерантностью / М. Х. Гайнутдинов, А. Х. Тимошенко, Т. М. Гайнутдинов, Т. Б. Калининкова // Генетика. 2007. Т. 43, № 9. С. 1218–1225.
8. Действие ацетальдегида на организмы свободноживущих почвенных нематод *Caenorhabditis elegans* линий N2 и IPE1 / Т. Б. Калининкова, А. Х. Тимошенко, Р. Р. Колсанова, С. В. Захаров, М. Х. Гайнутдинов, Р. Р. Шагидуллин // Токсикологический вестник. 2012. № 4. С. 45–48.
9. Brenner S. The genetics of *Caenorhabditis elegans* // Genetics. 1974. Vol. 77. P. 71–94. doi: 10.1093/genetics/77.1.71
10. Sleight J. N. Functional analysis of nematode nicotinic receptors // Biosci. Horizons. 2010. Vol. 3. P. 29–39. doi: 10.1093/biohorizons/hzq005
11. Opposite responses of the cholinergic nervous system to moderate heat stress and hyperthermia in two soil nematodes / Т. Б. Kalinnikova, R. R. Kolsanova, E. B. Belova, R. R. Shagidullin, M. Kh. Gainutdinov // Journal of Thermal Biology. 2016. Vol. 62. P. 37–49. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.05.007
12. Нейротоксичность *Allium sativum* для нематоды *Caenorhabditis elegans* / Т. Б. Калининкова, А. В. Егорова, Р. Р. Колсанова, М. Х. Гайнутдинов, Р. Р. Шагидуллин // Ветеринарный врач. 2019. № 3. С. 12–19.

ПОСЛЕДСТВИЯ КРАТКОВРЕМЕННОГО ДЕЙСТВИЯ НИТРАТА СВИНЦА НА НЕРВНУЮ СИСТЕМУ СВОБОДНОЖИВУЩЕЙ ПОЧВЕННОЙ НЕМАТОДЫ *CAENORHABDITIS ELEGANS*

А. В. Егорова, А. Ф. Гатиятуллина, Т. Б. Калининкова
Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, tbkalinnikova@gmail.com

Показано, что кратковременная экспозиция *C. elegans* к нитрату свинца в концентрации 10 и 20 мМ вызывает повышение чувствительности поведения нематод к токсическому действию агониста никотиновых рецепторов левамизола, которое сохраняется до 24 часов.

Ключевые слова: *Caenorhabditis elegans*, нитрат свинца, нейротоксичность, левамизол, никотиновые рецепторы ацетилхолина

Свинец (Pb) – широко распространенный в окружающей среде металл. Благодаря таким свойствам как ковкость, легкоплавкость и низкая химическая активность свинец активно используется человеком с древнейших времен. Но уже в Римской империи были известны токсические свойства свинца. В настоящее время свинец признан одним из наиболее опасных природных нейротоксикантов. Выведение свинца из организма осуществляется в основном почками. При превышении определенного уровня поступления свинец может накапливаться в организме с образованием стойких депо, главным образом в костной ткани за счет замещения ионов Ca^{2+} на ионы Pb^{2+} . Период полувыведения свинца из крови составляет 35 дней, из мозга – 2 года, из ко-

стей – 20–30 лет [1–3]. Благодаря способности проникать через гематоэнцефалический барьер свинец может накапливаться в головном мозге и нарушать работу нейротрансмиттерных систем, таких как холинергическая, дофаминергическая и глутаматергическая. Содержание свинца в крови в концентрации 10 мкг/100 мл существенно снижает когнитивные способности у детей [1–6]. Несмотря на большое количество клинических и экспериментальных данных о влиянии острого и хронического отравления свинцом на нервную систему, остается открытым вопрос о возможных отдаленных нарушениях в организме после однократного кратковременного действия ионов свинца. Почвенная нематода *Caenorhabditis elegans* давно уже стала одним из классических объектов для биологических и токсикологических исследований. Простота выращивания в лаборатории, короткий жизненный цикл, высокая плодовитость позволяют проводить эксперименты с большим количеством животных одного возраста. У *C. elegans* отсутствует циркуляторная и дыхательная система, а нервная система состоит всего из 302 нейронов, что существенно облегчает интерпретацию результатов токсикологических экспериментов. Целью данной работы явилось изучение последствий кратковременного действия ионов свинца на нервную систему *C. elegans*.

Эксперименты проводили с нематодами линии дикого типа N2, полученной в *Caenorhabditis Genetics Center*. Нематод выращивали при 22°C в чашках Петри со стандартной средой выращивания, засеянной *E. coli* OP50 [7]. Все эксперименты проводили при 22°C. Для каждого эксперимента нематод трижды отмывали от среды выращивания, бактерий и экзометаболитов: два раза 10 мл NG буфера (pH 7,0) [7] и один раз 10 мл 5% NaCl. После этого нематод рассаживали по 200 особей в стеклянные центрифужные пробирки, содержащие по 1 мл раствора Pb(NO₃)₂ в концентрации 10 и 20 мМ. В контрольные пробирки добавляли 1 мл дистиллированной воды. В первом варианте эксперимента *C. elegans* инкубировали в растворе нитрата свинца два часа. После этого нематод отмывали 10 мл 5% NaCl, рассаживали по одной особи в пробирки с 1 мл NG буфера (pH 7,0), куда добавляли левамизол в концентрации 2, 4 и 8 мкМ. Во втором варианте эксперимента *C. elegans* инкубировали с нитратом свинца в течение 30 минут, после чего нематод отмывали 10 мл 5% NaCl и переносили в чашки Петри со средой выращивания, засеянной *E. coli* OP50. Через 24 часа нематод смывали с поверхности агара и трижды отмывали от среды выращивания, бактерий и экзометаболитов: два раза 10 мл NG буфера (pH 7,0) и один раз 10 мл 5% NaCl. Как и для первого эксперимента, *C. elegans* рассаживали поодиночке в пробирки с 1 мл NG буфера (pH 7,0) с левамизолом. Критерием токсического действия свинца служил паралич нематод (полное отсутствие спонтанной и индуцированной двигательной активности). Нарушения плавания нематод фиксировали с использованием стереоскопического микроскопа SMZ-05. Эксперименты проводили в трех повторностях с использованием 30 нематод в каждом варианте. Статистическую обработку результатов проводили с использованием углового преобразования Фишера φ*.

Нитрат свинца в концентрации 60 и 120 мкМ не обладает острой токсичностью для *C. elegans*, поскольку не вызывает паралича нематод в течение четырехчасовой экспозиции к нему [8]. В то же время $Pb(NO_3)_2$ повышает чувствительность поведения нематод к гиперактивации никотиновых рецепторов ацетилхолина (н-холинорецепторов) их агонистом левамизолом при инкубации нематод в среде, содержащей нитрат свинца и левамизол [8]. Для выяснения вопроса о том, как долго сохраняются нарушения в нервной системе нематод, вызванные ионами свинца, нами были проведены эксперименты, в которых исследовалась чувствительность *C. elegans* к левамизолу после кратковременного действия высоких доз $Pb(NO_3)_2$.

Двухчасовая инкубация *C. elegans* в среде без ионов свинца не вызывала паралича нематод при действии левамизола в течение последующих 120 мин (не показано). Предварительная двухчасовая экспозиция *C. elegans* к нитрату свинца в концентрации 10 и 20 мМ повышала чувствительность нематод к левамизолу. Левамизол в концентрации 2, 4 и 8 мкМ уже через 30 мин вызывал паралич у 8–42% нематод, предварительно инкубированных с $Pb(NO_3)_2$. Увеличение времени экспозиции к левамизолу до 120 мин приводило к параличу 50–91% нематод (табл. 1).

Таблица 1

Чувствительность *Caenorhabditis elegans* к левамизолу после двухчасовой экспозиции нематод к $Pb(NO_3)_2$

Условия эксперимента	Доля нематод, у которых наступил паралич			
	30 мин	60 мин	90 мин	120 мин
10 мМ $Pb(NO_3)_2$				
Левамизол 2 мкМ	8±4	15±5	25±6	50±7
Левамизол 4 мкМ	17±5	27±6	48±7	60±7
Левамизол 8 мкМ	33±9	54±10	75±8	83±7
20 мМ $Pb(NO_3)_2$				
Левамизол 2 мкМ	13±5	40±7	63±7	79±6
Левамизол 4 мкМ	25±6	65±6	73±6	79±6
Левамизол 8 мкМ	42±10	75±8	83±7	91±6

Таблица 2

Чувствительность *Caenorhabditis elegans* к левамизолу после 30-минутной экспозиции нематод к $Pb(NO_3)_2$ с последующим восстановлением в течение 24 часов

Условия эксперимента	Доля нематод, у которых наступил паралич			
	30 мин	60 мин	90 мин	120 мин
10 мМ $Pb(NO_3)_2$				
Левамизол 2 мкМ	6±3	11±4	16±4	22±5
Левамизол 4 мкМ	23±5	27±4	31±6	41±6
Левамизол 8 мкМ	31±8	41±8	50±6	56±6
20 мМ $Pb(NO_3)_2$				
Левамизол 2 мкМ	13±4	19±5	22±5	31±5
Левамизол 4 мкМ	25±5	28±5	36±6	41±6
Левамизол 8 мкМ	41±8	50±8	69±8	84±4

Во второй серии экспериментов *C. elegans* инкубировали с нитратом свинца в течение 30 минут. Чувствительность *C. elegans* к левамизолу, как и в первой серии экспериментов, оценивали в NG буфере (pH 7,0) после 24-часового восстановления нематод на агаре с бактериями. Левамизол в концентрации 2, 4 и 8 мкМ не вызывал паралича у нематод, не подвергавшихся действию $Pb(NO_3)_2$ (не показано). У нематод, предварительно инкубированных с 10 мМ $Pb(NO_3)_2$, левамизол в концентрации 2, 4 и 8 мкМ через 30 минут вызывал паралич 6, 23 и 31% нематод соответственно. Более длительная экспозиция к левамизолу увеличивала долю нематод, у которых наступил паралич (табл. 2). Предварительная 30-минутная экспозиция нематод к нитрату свинца в концентрации 20 мМ также повышала чувствительность *C. elegans* к левамизолу, вызывая паралич у 13–41 и 31–84% нематод через 30 и 120 минут соответственно (табл. 2).

Нервная система является одной из самых чувствительных мишеней действия ионов Pb^{2+} на организмы человека и животных [5–6, 9]. Механизмами действия свинца на нервную систему могут быть индукция окислительного стресса, прямое влияние на ионные каналы в мембранах нейронов, снижение уровня ацетилхолинэстеразы в холинергических синапсах, снижение уровня эндогенного дофамина за счет дегенерации дофаминергических нейронов [5–6, 10–15]. Особенностью организмов нематод является отсутствие гематоневрального барьера, защищающего нервную систему от прямого действия на нее различных токсикантов. Отсутствие гематоневрального барьера, в свою очередь, компенсируется наличием кутикулы, ограничивающей проникновение токсикантов во внутреннюю среду организма. Поэтому выявленное нами повышение чувствительности *C. elegans* к левамизолу после кратковременной экспозиции к ионам Pb^{2+} не может быть следствием накопления свинца во внутренней среде организма нематод.

В наших экспериментах нематоды подвергались кратковременному воздействию $Pb(NO_3)_2$ в концентрациях, значительно превышающих концентрации, вызывающие различные нарушения поведения *C. elegans* [16–17]. Используемые нами концентрации нитрата свинца близки к дозам, вызывающим гибель дофаминергических нейронов *C. elegans* [6, 18]. Вероятно, эта кратковременная экспозиция индуцировала гибель части дофаминергических нейронов, что привело к снижению уровня эндогенного дофамина. Известно, что дофамин снижает скорость секреции ацетилхолина холинергическими нейронами *C. elegans* [19]. Снижение уровня эндогенного дофамина в наших экспериментах могло привести к повышению содержания эндогенного ацетилхолина и, как следствие, повышению чувствительности н-холинорецепторов к их агонисту левамизолу. Гиперактивация н-холинорецепторов повышенным уровнем эндогенного ацетилхолина привела к параличу нематод.

Библиографический список

1. Garza A., Vega R., Soto E. Cellular mechanisms of lead toxicity // Med. Sci. Monit. 2006. Vol. 12. No. 3. P. RA57–65.

2. Lidsky T. I., Schneider J. S. Lead neurotoxicity in children: basic mechanisms and clinical correlates // *Brain*. 2003. Vol. 126. P. 5–19. doi: 10.1093/brain/awg014
3. Heavy metals and human health: mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants / A. T. Jan, M. Azam, K. Siddiqui, A. Ali., I. Choi, Q. M. R. Haq // *Int. J. Mol. Sci.* 2015. Vol. 16. P. 29592–29630. doi: 10.3390/ijms161226183
4. Flora G., Gupta D., Tiwari A. Toxicity of lead: a review with recent updates // *Interdiscip. Toxicol.* 2012. Vol. 5. No. 2. P. 47–58. doi: 10.2478/v10102-012-0009-2
5. Neurotoxic effects and biomarkers of lead exposure: A review / T. Sanders, Y. Liu, V. Buchner, P. B. Tchounwou // *Rev. Environ. Health.* 2009. Vol. 24. No. 1. P. 15–45. doi: 10.1515/reveh.2009.24.1.15
6. Metal-induced neurodegeneration in *C. elegans* / P. Chen, E. J. Martinez-Finley, J. Bornhorst, S. Chakraborty, M. Aschner // *Front. Aging Neurosci.* 2013. Vol. 5. Article 18. doi: 10.3389/fnagi.2013.00018
7. Brenner S. The genetics of *Caenorhabditis elegans* // *Genetics*. 1974. Vol. 77. P. 71–94. doi: 10.1093/genetics/77.1.71
8. Нейротоксичность тяжелых металлов для почвенной нематоды *Caenorhabditis elegans* / А. В. Егорова, Т. М. Гайнутдинов, Т. Б. Калининкова, М. Х. Гайнутдинов // *Научное обозрение*. 2019. № 3. С. 17–21.
9. Wang Bo, Du Y. Cadmium and its neurotoxic effect // *Oxid. Med. Cell Longev.* 2013. Vol. 2013. P. 1–12. doi: 10.1155/2013/898034
10. Metal interactions with voltage- and receptor-activated ion channels / H. P. M. Vijverberg, M. Oortgiesen, T. Leinders, R. G. D. M. van Kleef // *Environ. Health. Perspect.* 1994. Vol. 102 (Suppl. 3). P. 153–158. doi: 10.2307/3431780
11. Zhang Y., Ye B., Wang D. Effects of metal exposure on associative learning behavior in nematode *Caenorhabditis elegans* // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2010. Vol. 59. P. 129–136. doi: 10.1007/s00244-009-9456-y
12. Valko M., Morris H., Cronin M. T. D. Metals, toxicity and oxidative stress // *Curr. Med. Chem.* 2005. Vol. 12. P. 1161–1208. doi: 10.2174/0929867053764635
13. Phyu M. P., Tangpong J. Sensitivity of acetylcholinesterase to environmental pollutants // *J. Health. Res.* 2014. Vol. 28. No. 4. P. 277–283.
14. Nouredine D., Miloud S., Abdelkader A. Effect of lead exposure on dopaminergic transmission in the rat brain // *Int. J. Child Neuropsi.* 2004. Vol. 1. No. 1. P. 97–105.
15. de Lima D., Roque G. M., de Almeida E. A. In vitro and in vivo inhibition of acetylcholinesterase and carboxylesterase by metals in zebrafish (*Danio rerio*) // *Marine Environ. Res.* 2013. Vol. 91. P. 45–51. doi: 10.1016/j.marenvres.2012.11.005
16. Wang D., Xing X. Assessment of locomotion behavioral defects induced by acute toxicity from heavy metal exposure in nematode *Caenorhabditis elegans* // *J. Environ. Sci.* 2008. Vol. 20. P. 1132–1137. doi: 10.1016/s1001-0742(08)62160-9
17. Tiwari S.S., Tambo F., Agarwal R. Assessment of lead toxicity on locomotion and growth in a nematode *Caenorhabditis elegans* // *J. Appl. Nat. Sci.* 2020. Vol. 12. No. 1. P. 36–41. doi: 10.31018/jans.v12i1.2227
18. Lead (Pb) exposure induces dopaminergic neurotoxicity in *Caenorhabditis elegans*: involvement of the dopamine transporter / A. J. Akinyemi, M. R. Miah, O. M. Ijomone, A. Tsatsakis, F. A. A. Soares, A. A. Tinkov, A. V. Skalny, V. Venkataramani, M. Aschner // *Toxicol. Reports*. 2019. Vol. 6. P. 833–840. doi: 10.1016/j.toxrep.2019.08.001
19. Chase D. L., Pepper J. S., Koelle M. R. Mechanism of extrasynaptic dopamine signaling in *Caenorhabditis elegans* // *Nature Neurosci.* 2004. Vol. 7. P. 1096–1103. doi: 10.1038/nn1316

СПЕЦИФИЧНОСТЬ РЕАГИРОВАНИЯ ПЧЕЛ (*APIS MELLIFERA* L.) НА НИЗКОЧАСТОТНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

Е. К. Еськов, М. Д. Еськова

Российский государственный аграрный заочный университет

Показано, что низкочастотные электрическое поле высокой напряженности стимулируют у пчел различные аномалии поведения. Пчелы резко активизируются, покидают свои жилища и проявляют немотивированную агрессивность. Некоторое проявление адаптации к ЭП высокой напряженности при длительном воздействии выражается в обеспечении электрической изоляции леткового прохода, который усиленно покрывается воскопрополисовой смесью.

Ключевые слова: медоносная пчела, низкочастотное электрическое поле, напряженность, аномалии поведения

Биосфера Земли со своего возникновения подвергается природным электромагнитным воздействиям широкого частотного диапазона – от медленных изменений магнитного и электрических полей до гамма-излучений. У животных электрические и магнитные воздействуют на электрические процессы, протекающие в клетках, тканях и органах. Поэтому независимо от наличия или отсутствия у животных специализированных рецепторов электромагнитных полей, они влияют на их физиологическое состояние [1–4].

Настоящее исследование посвящено реагированию пчел на низкочастотные электрические поля (ЭП) высокой напряженностью. Это актуально для понимания приспособления пчел к электромагнитным воздействиям и разработки способов управления их поведением.

Реакции пчел на ЭП зависят от его напряженности. Заметную активизацию локомотивной стимулирует ЭП напряженностью 1–2 кВ/м. Возбужденные пчелы начинают выходить из улья, когда напряженность ЭП достигает 10–15 кВ/м, а при 20–30 кВ/м сотни возбужденных пчел выходят на переднюю стенку улья. Некоторая их часть взлетает и кружится на расстоянии 1–5 м от улья. Летающие пчелы набрасываются и жалят людей и животных, оказавшихся вблизи улья.

Через 4–7 мин от начала воздействия на пчелиную семью ЭП напряженностью 20–30 кВ/м локомотивная активность пчел начинает понижаться. С этого времени ранее гиперактивные пчелы группируются на поверхности сот, образуя неровные ряды, ориентированные преимущественно вдоль или под небольшим углом к силовым линиям ЭП. В нижней части сот и у дна улья пчелы образуют беспорядочные малоподвижные скопления.

Поведение пчел, находящихся у летка во время действия ЭП, сходно с поведением сторожей при нападении на семью врагов или грабителей. Но в

отличие от сторожей эти пчелы отличаются повышенной двигательной активностью. Они приближаются и вступают в кратковременные тактильные контакты не только с подлетающими пчелами, что характерно для сторожей, но и с особями, выходящими из улья. Тактильным контактам всегда сопутствует повышение локомоторной активности пчел.

На пороговые и близкие к ним напряженности ЭП пчелиная семья реагирует незначительным повышением интенсивности спектральных составляющих в диапазоне 400–500 Гц. Этот диапазон акустического шума пчелиной семьи связан с активизацией пчел [5]. Всего на 0,5–0,9 дБ возрастает интенсивность спектральных составляющих пчелиного шума в диапазоне 450 ± 50 Гц под действием ЭП напряженностью 1,5–2 кВ/м. При увеличении напряженности ЭП до 5 и 10 кВ/м интенсивность этих составляющих возрастает соответственно на 1,7–1,8 и 2,1–2,3 дБ.

При высокой напряженности ЭП, достигающей 35 ± 3 кВ/м, сильному возбуждению пчел сопутствует значительно изменение интенсивности и спектральной структуры акустического шума пчелиной семьи. Частота пика интенсивности, локализуемого в области 400–500 Гц, повышается на 25–35 Гц, а общая интенсивность шума возрастает на 4–5 дБ. К исходному состоянию интенсивность и спектральная структура пчелиных звуков возвращаются через 3,6–4,2 ч после отключения ЭП.

Активизации локомоций под действием ЭП сопутствует повышение температуры и выделения CO_2 . Незначительное повышение температуры (на $0,1\text{--}0,3$ °С) и CO_2 (на $0,05\text{--}0,1\%$) над центром расплодной зоны гнезда происходит под действием ЭП напряженностью 1,5–2 кВ/м. При повышении напряженности ЭП до 5 кВ/м температура и концентрация CO_2 в указанной зоне гнезда возрастает на $2,6\text{--}2,8$ °С и $1,6\text{--}1,8\%$, а при 10 кВ/м – соответственно на $4,1\text{--}4,3$ °С и $3,7\text{--}4,1\%$.

Значительные изменения микроклимата в пчелином гнезде происходят под действием ЭП напряженностью 20–25 кВ/м. На 10-минутное воздействие такого стимула температура в центре гнезда повышается на $7\text{--}9$ °С, а концентрация CO_2 – на $4,4\text{--}6,1\%$. Через 2–3 ч после отключения поля температура снижается всего на $0,5\text{--}1,3$ °С и возвращается к исходному значению через 15–18 ч. Но концентрация CO_2 нормализуется всего за 50–70 мин.

Эффективность ЭП зависит от его генерации в форме пакетов импульсов или непрерывных синусоидальных колебаний. При подаче ЭП в импульсном режиме имеет значение скважность импульсации. В частности, ЭП частотой 300 Гц при напряженности 8 кВ/м, подаваемое в форме синусоидальных колебаний в течение 10 мин стимулирует повышение температуры над гнездовом пчелиной семьи на $2,1 \pm 0,4$ °С. За такое же время ЭП, подаваемое в форме импульсов длительностью 30 мс со скважностью равной 2, стимулирует повышение пчелами температуры на $1,2 \pm 0,2$ °С, а при скважности равной 10 – на $0,4 \pm 0,1$ °С.

Длительное действие ЭП не вызывает у пчел полного привыкания, хотя активность реагирования со временем уменьшается. Действие ЭП, напряжен-

ность которого примерно на порядок превосходит пороговое значение чувствительности (на частоте 500 Гц порог чувствительности составляет 0,4–0,5 кВ/м), дестабилизирует внутригнездовую температуру. Например, у пчелиных семей, которые в течение 45 дней находились под крайней фазой ЛЭП-500 кВ при напряженности ЭП около 7,5 кВ/м, температура в разных зонах гнезда скачкообразно повышалась на 2–4 °С, а затем опускалась до исходных значений. Периоды подъема и понижения температуры не имели строгой упорядоченности. Продолжительность той и другой фаз находилась в пределах от нескольких минут до десятков часов.

ЭП ЛЭП влияет также на дестабилизацию CO₂ в разных зонах пчелиного гнезда. В дни, благоприятные для полетов, концентрация CO₂ в центральной части гнезда в течение ночи повышалась в среднем до 1,8±0,4%, а в прилетковой зоне – до 1,1±0,3%. К середине дня в центральной части гнезда происходило понижение концентрации CO₂ примерно 2 раза, а в прилетковой – в 1,5 раза. В то же самое время в гнездах семей, находившихся 20–50 м от линии, суточные колебания температуры не выходили за пределы 0,23–0,37%.

К специфическим реакциям пчел на длительное воздействие ЭП относится интенсивное покрытие воском и прополисом леткового прохода и прилегающих к нему частей улья. Такое поведение свойственно пчелам в конце лета – начале осени при подготовке к зимовке. Но в прилетковой зоне ульев, находившиеся в 10–14 м от крайней фазы ЛЭП и под нею, к концу лета пчелы накопили соответственно по 11±1,3 и 37±4,6 г воско-прополисовой смеси. В ульях семей, находившихся в это время в 50–60 м от ЛЭП, масса накопленной воско-прополисовой смеси составляла всего 0,9±0,3 г. Иногда пчелы семей, находящихся под ЛЭП, полностью заделывают прополисом летковые проходы, обрекая тем самым себя на гибель [6].

ЭП ЛЭП влияет на поведение пчел вылетающих из ульев. Им свойственна повышенная агрессивность и неупорядоченность вылетов большими группами, которые кружатся некоторое время на расстоянии нескольких метров от ульев. Вылеты этих пчел не связаны и не имеют сходства с ориентировочными и очистительными облетами, а полеты пчел-фуражиров отличаются пониженной продуктивностью. Так, если у фуражиров, возвращающихся в ульи, которые находились в 50–60 м от ЛЭП, масса содержимого медовых зобиков составляла 28,8±3,9 мг, то под крайней фазой линии она была меньше примерно в 1,5 раза.

Пчелы, находящиеся у источника корма, покидают его под действием ЭП. Группы из 50–120 пчел, наполняющие медовые зобика 50–60%-ным раствором сахарозы, под действием ЭП напряженностью 40–50 кВ/м взлетают в течение 3–10 с. Летающие пчелы, кружатся между электродами и за их пределами, не проявляя признаков агрессии. После отключения ЭП пчелы в течение 0,5–1,5 мин вновь собираются на кормушке.

На действие ЭП у пчел-фуражиров быстро вырабатывается отрицательный условный рефлекс. При наличии двух кормушек, расположенных на рас-

стоянии 1 м, пчелы быстро начинают отличать кормушку, которая находится в ЭП. Для выработки отрицательного рефлекса достаточно 8–14 включений ЭП. После этого все пчелы, которым известно место подкормки, начинают игнорировать кормушку, подвергаемую действию ЭП, и собираются на соседней кормушке.

Таким образом, пчелы по-разному реагируют на ЭП в зависимости от его напряженности и экологической ситуации.

Библиографический список

1. Пресман А. С. Электромагнитные поля и живая природа. М. : Наука. 1968. 288 с.
2. Дубров А. П. Геомагнитное поле и жизнь. Л. : Гидрометеиздат. 1974. 176 с.
3. Холодов Ю. А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М. : Наука. 1975. 208 с.
4. Еськов Е. К. Специфичность реагирования на электромагнитные поля и их использование биообъектами различной сложности // Успехи совр. биол. 2003. Т. 123. № 2. С. 195–200.
5. Еськов Е. К. Акустическая сигнализация общественных насекомых. М. : Наука. 1979. 209 с.
6. Warnke U., Paul R. Bienen unter Hochspannung // Umschau. 1975. No. 3. S. 415–416.

ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИСТЬЕВ РЯБИНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*SORBUS AUCUPARIA*) ВРЕДИТЕЛЯМИ И ПАТОГЕНАМИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КИРОВА

В. В. Зиновьев¹, С. В. Пестов^{1,2}, С. Ю. Огородникова²

¹ Вятский государственный университет,

² ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,

vladislavzinovjev@yandex.ru, atylotus@mail.ru

Представлены результаты изучения повреждения листьев рябины обыкновенной фитофагами и фитопатогенами на территории г. Кирова. Выявлено десять типов повреждения листьев вредителями и болезнями. Среди членистоногих вредителей наиболее массовыми были минеры, а наименее массовые – галлообразователи. В листьях пораженных фитофагами (минирующая моль) и фитопатогенами (ржавчинные грибы) снижено содержание пластидных пигментов – хлорофиллов и каротиноидов.

Ключевые слова: рябина обыкновенная, фитофаги, фитопатогены, повреждение листьев, хлорофиллы, каротиноиды.

Зеленые насаждения в современных условиях являются необходимым компонентом инфраструктуры урбанизированной территории. Зеленые городские насаждения, представленные в виде парков, скверов, посадок внутри жилых дворов, аллей помогают в решении ряда рекреационных, градостроительных, санитарных и экологических проблем городов [1]. Растительность городов представляют собой совокупность множества видов деревьев и ку-

старников, на которые влияют факторы различной природы. Отдельно стоит выделить такой лимитирующий фактор как влияние членистоногих фитофагов и различных патогенных микроорганизмов. Внешнее проявление деятельности этих групп организмов, выражаются в виде нарушения целостности листовой пластинки и различных морфологических ее изменений, приводят к снижению декоративности растений в зеленых посадках городов. При поражении листьев древесных растений фитофагами изменяется количество и соотношение фотосинтетических пигментов, происходит угнетение фотосинтеза [2, 3].

Целью работы было изучение степени повреждения фитофагами и фитопатогенами листьев рябины на территории города Кирова.

Для изучения нами был выбран вид древесного растения рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*). Данный вид широко распространен на всех выбранных участках исследования и активно используется в озеленении города. Данное сообщение является продолжением исследований авторов о роли насекомых фитофагов в комплексе зеленых насаждений города [4, 5].

Исследования выполняли на территории парков города Кирова в 2020 и 2021 гг. Оценка повреждений листьев рябины обыкновенной проведена на шести участках:

– Александровский парк – один из старейших и крупнейших парков Кирова. Находится в центре города на высоком берегу реки Вятки. Парк расположен на удалении от промышленного центра и крупных автомобильных магистралей.

– Парк имени С. М. Кирова находится в жилебной зоне города вблизи пересечения крупных автомобильных магистралей.

– Дендрологический парк лесоводов кировской области (Дендропарк) является особо охраняемой природной территорией – памятником природы регионального значения. Располагается в пригороде, на значительном расстоянии от жилебных и промышленных районов.

– Парк Аполло обладает по сравнению с другими исследуемыми парками небольшой территорией, расположен в центре города вблизи крупных автодорог.

– Парк имени Ю. А. Гагарина располагается в центре города, граничит с жилыми домами, образовательными учреждениями и автомобильными дорогами. В парке присутствует инфраструктура для досуга населения и активного образа жизни.

– Парк Победы – крупная по площади территория, расположенная в промышленном центре города и на пересечении крупных автомобильных магистралей.

Сбор материала проводили в соответствии с методикой [6]. На всех исследуемых участках отбирали 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев). Видимые внешние деформации и повреждения листьев фиксировали сразу после отбора проб.

Содержания пигментов в листьях определяли на спектрофотометре ПЭ-5300 ВИ (Экротхим, Россия). Навеску листьев взвешивали, фиксировали кипящим 100% ацетоном, содержание хлорофилла а, b и каротиноидов определяли в ацетоновой вытяжке при длинах волн 662, 644 и 470 нм соответственно [7, 8].

В ходе исследования было выявлено десять типов повреждения листьев рябины обыкновенной (табл.).

Таблица

Степень повреждения листьев (%) рябины в г. Кирове

Типы повреждений	Участок					
	Александровский парк	Парк им С. М. Кирова	Дендропарк	Парк Аполло	Парк им Ю. А. Гагарина	Парк Победы
Галлообразователи	$\frac{1}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{7}$	$\frac{3}{2}$
Минирование	$\frac{72}{100}$	$\frac{54}{100}$	$\frac{54}{95}$	$\frac{48}{93}$	$\frac{44}{77}$	$\frac{21}{93}$
Краевые погрызы	$\frac{31}{19}$	$\frac{22}{21}$	$\frac{22}{14}$	$\frac{6}{3}$	$\frac{43}{3}$	$\frac{5}{22}$
Скелетирование	$\frac{0}{4}$	$\frac{2}{15}$	$\frac{2}{15}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Дырчатые погрызы	$\frac{13}{39}$	$\frac{21}{29}$	$\frac{21}{22}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{33}{3}$	$\frac{16}{25}$
Сосущие насекомые	$\frac{12}{7}$	$\frac{2}{21}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{4}{30}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{20}{20}$
Пятнистости	$\frac{23}{39}$	$\frac{42}{41}$	$\frac{42}{76}$	$\frac{46}{25}$	$\frac{52}{28}$	$\frac{37}{48}$
Ржавчина	$\frac{23}{25}$	$\frac{50}{17}$	$\frac{50}{1}$	$\frac{18}{0}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{14}{5}$
Хлорозы	$\frac{2}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{2}$	$\frac{0}{4}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{33}{7}$
Некрозы	$\frac{2}{3}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{1}$	$\frac{15}{0}$	$\frac{2}{0}$	$\frac{4}{0}$

Примечание: числитель – 2020 г., знаменатель – 2021 г.

Наиболее массовым видом повреждения членистоногими фитофагами во за период наблюдений было минирование листьев. Практически во всех случаях минером выступал вид моли-малютки Нюландера (*Stigmella nylandriella* Tengström). Также единично встречался вид рябиновой моли – пестрянки (*Phyllonorycter sorbi* F). Наименее активно себя проявляли членистоногие вызывающие галлообразование на листьях. В течение всего времени исследования они встречались довольно редко. Повреждения, вызванные листогрызущими насекомыми, по годам существенно не изменялись.

Стоит отметить возросший в 2021 году уровень встречаемости листьев с минами и сосущими насекомыми. Данный факт, возможно, связан с тем, что степень повреждение листьев патогенными грибами вызывающих ржавчину уменьшилась.

Среди повреждений вызванных не членистоногими вредителями массовыми являются ржавчина и пятнистости, вызванные различными патогенными вирусами и грибами. Хлорозы и некрозы встречались редко.

Если сравнивать территории исследования с точки зрения их расположения, то четкого различия между общей степенью повреждения и давлением со стороны хозяйственной деятельности человека выявлено не было. В городе Кирове наиболее широко распространенными группами патогенных организмов рябины были минеры и ржавчинные грибы. Они вызывают характерные визуально легко идентифицируемые повреждения.

Ржавчина вызывается ржавчинными грибами. Возбудитель ржавчины на листьях рябины гриб – *Gymnosporangium cornutum*. Ржавчинные грибы являются облигатными паразитами с узкой специализацией. Ржавчина на рябине проявляется на верхней стороне листьев в виде пятен различной формы, диаметром 2–5 мм, оранжево-желтого цвета, с темно-коричневыми бугорками на поверхности.

В листьях рябины с пятнами ржавчины содержание пластидных пигментов было ниже, по сравнению с неповрежденными листьями. Зеленые и желтые пигменты характеризовались одинаковой чувствительностью к фитопатогенным грибам. Уровень хлорофиллов и каротиноидов в поврежденных ржавчиной листьях был меньше на 11–15% по сравнению со здоровыми листьями (рис. 1).

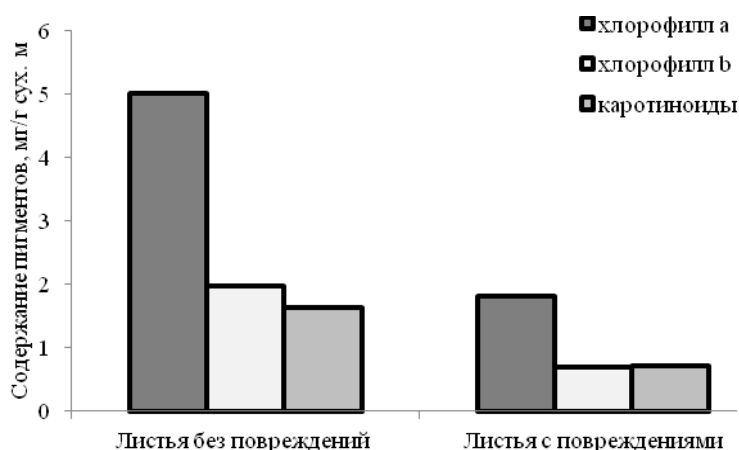


Рис. 1. Содержание пигментов в листьях рябины обыкновенной, пораженных ржавчиной

Снижение содержания пластидных пигментов в поврежденных ржавчиной листьях, по-видимому, происходит в результате торможения процессов биосинтеза пигментов и деградации молекул пигментов в условиях окислительного стресса. Известно, что в листьях тополя поврежденных ржавчиной повышена активность ферментов антиоксидантной защиты и интенсивность процессов перекисного окисления липидов [9].

Минирующая моль вызывает повреждения листьев рябины, личинки моли образуют мины на нижней стороне листа. Личинки питаются тканями листа, что приводит к физиологическим и морфологическим нарушениям. В листьях рябины, поврежденных минирующей молью значительно, по сравнению со здоровыми листьями, снижено содержание фотосинтетических пигментов: хлорофиллов на 65%, каротиноидов на 57% (рис. 2). Изменения уровня пластидных пигментов связаны с жизнедеятельностью личинок моли – уменьшением количества живых клеток и ростом размеров некрозов. Также отмечено снижение на 8% оводненности листьев, поврежденных минами, по сравнению с неповрежденными листьями.

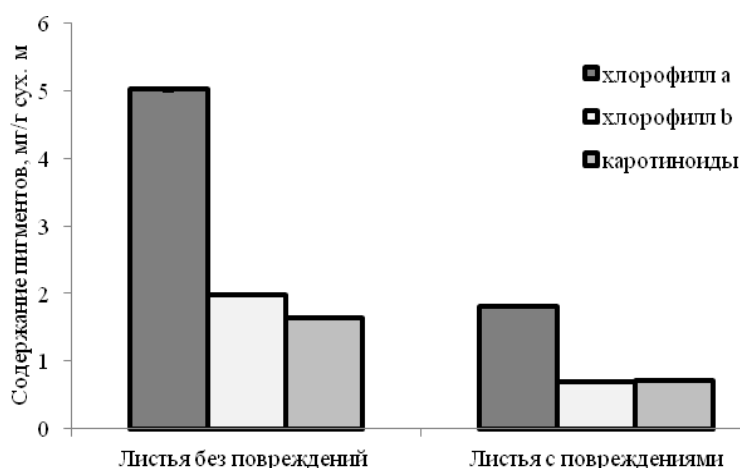


Рис. 2. Содержание пигментов в листьях рябины обыкновенной, поврежденных минирующей молью

Таким образом, в 2020–2021 гг. на территории города Кирова нами были исследованы шесть участков на предмет повреждения листьев рябины обыкновенной. В ходе изучения было обнаружено десять типов повреждения листьев фитофагами и фитопатогенами. Среди членистоногих вредителей наиболее массовыми были минеры, а наименее – галлообразователи. Среди минеров самым массовым был вид моли-малютки Нюландера (*Stigmella nylandriella* Tengström), также встречался вид рябиновой моли – пестрянки (*Phyllonorycter sorbi* F). Среди повреждений вызванных фитопатогенами доминирующими были пятнистости и ржавчина. Связи между дифференциальной пространственной распространенностью вредителей и патогенов и пресом со стороны деятельности человека нами обнаружено не было. Поражение листьев фитофагами (минирующая моль) и фитопатогенами (ржавчинные грибы) приводило к снижению содержания пластидных пигментов. Значительные изменения в пигментном фонде вызывали филлофаги (минирующая моль), под влиянием патогенных организмов уровень пигментов снижался в меньшей степени, что обусловлено различиями в механизмах повреждающего действия вредителей и патогенов на ассимиляционный аппарат рябины.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги».

Библиографический список

1. Разинкова А. К., Перельгина Е. Н. Видовое разнообразие и патологическое состояние уличных придорожных посадок г. Воронежа // Лесотехнический журнал. 2016. № 2. С. 36–46. doi: 10.12737/19952
2. Пестов С. В., Тычинкина И. Г., Огородникова С. Ю. Влияние галловых клещей на состояние ассимиляционного аппарата липы сердцевидной // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2018. № 44. С. 188–201. doi: 10.17223/19988591/44/11
3. Пестов С. В. Коадаптации растений и членистоногих филофагов // Адаптационные реакции живых систем на стрессорные воздействия // Материалы Всероссийской молодежной конференции (Доклады. Лекции. Практические занятия). 2012. С. 126–137.
4. Зиновьев В. В., Пестов С. В. Биоповреждения листьев деревьев в зеленых насаждениях г. Кирова // Принципы экологии. 2021. № 4. С. 38–48. doi: 10.15393/j1.art.2021.11842
5. Pestov S. V. Ogorodnikova S. Yu. Status of the photosynthetic apparatus of wood plants damaged by gall mites// Biology bulletin. 2020. Vol. 47 No. 10 P. 1392–1397. doi: 10.1134/S1062359020100179
6. Пестов С. В. Мониторинг фитопатологического состояния листьев деревьев и кустарников // Биоиндикаторы и биотестсистемы в оценке окружающей среды техногенных территорий. Киров : О-Краткое, 2008. С. 209–214.
7. Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М. : Наука, 1971. С. 154–170.
8. Маслова Т. Г., Попова И. А., Попова О. Ф. Критическая оценка спектрофотометрического метода количественного определения каротиноидов // Физиология растений. Т. 39. № 6. 1986. С. 615–619.
9. Changes in antioxidant enzyme activities and isozyme profiles in leaves of male and female *Populus cathayana* infected with *Melampsora larici-populina* S. / Zhang, S. Lu, X. Xu, H. Korpelainen, C. Li // Tree Physiol. 2010. Vol. 30. No. 1. P. 116–128. doi: 10.1093/treephys/tpp094

ДЕЙСТВИЕ ИНГИБИТОРОВ АЦЕТИЛХОЛИНЭСТЕРАЗЫ НА ОРГАНИЗМЫ СВОБОДНОЖИВУЩИХ ПОЧВЕННЫХ НЕМАТОД *CAENORHABDITIS ELEGANS* ЛИНИЙ N2 И IPE1 ПРИ ГИПЕРТЕРМИИ

Т. Б. Калининкова, А. Ф. Гатиятуллина, А. В. Егорова
Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, tbkalinnikova@gmail.com

Исследовано действие ингибиторов ацетилхолинэстеразы алдикарба и неостигмина на *C. elegans* линий N2 и IPE1. Показано, что при оптимальной температуре среды алдикарб оказывает токсическое действие на *C. elegans*. При превышении физиологического оптимума температуры алдикарб и неостигмин могут оказывать как токсическое, так и терапевтическое действие на нематод.

Ключевые слова: *Caenorhabditis elegans*, ингибиторы ацетилхолинэстеразы, алдикарб, неостигмин, гипертермия

Исследование особенностей действия токсикантов на живые организмы позволяет объяснить механизмы действия этих веществ на популяции животных. Ингибиторы ацетилхолинэстеразы (АХЭ) характеризуются высокой токсичностью для человека, позвоночных и беспозвоночных животных. В настоящее время фосфорорганические ингибиторы АХЭ (малатион, дихлофос и др.) применяются в качестве пестицидов. Карбаматные ингибиторы АХЭ (алдикарб, неостигмин, галламин, физостигмин и др.) менее токсичны для человека и животных и используются при лечении многих заболеваний нервной системы [1–3]. Алдикарб используется в растениеводстве для борьбы с корневыми и стеблевыми нематодами. Токсическое действие всех ингибиторов АХЭ заключается в аномальном повышении уровня эндогенного ацетилхолина (АХ) в межнейронных и нервно-мышечных синапсах. Это приводит к нарушению поведения и физиологического состояния организма и может вызвать его гибель [1–3]. Ранее нами было показано, что одной из причин нарушения поведения и гибели беспозвоночных при превышении физиологического оптимума температуры является дефицит эндогенного АХ [4–6]. Поэтому можно было предположить, что в условиях гипертермии ингибиторы АХЭ могут обладать не только токсическим, но и протекторным действием на организмы беспозвоночных. Для проверки этой гипотезы было проведено исследование действия ингибиторов АХЭ алдикарба и неостигмина на почвенных нематод *Caenorhabditis elegans* линий N2 и IPE1.

Эксперименты проводили с молодыми половозрелыми нематодами линии *C. elegans* дикого типа N2, полученной из *Caenorhabditis Genetics Center*, и нематодами линии IPE1, выведенной нами из линии N2 путем искусственного отбора на низкую теплоустойчивость поведения [7]. Нематод выращивали при 22 °С в чашках Петри на стандартной среде выращивания, засеянной *E. coli* OP50 в качестве источника питания [8]. Эксперименты проводили с нематодами, инкубированными индивидуально в 1 мл NG буфера (рН 7,0) [8]. Для каждого эксперимента нематод отмывали от среды выращивания, бактерий и экзометаболитов как описано ранее [6]. В качестве критериев токсического действия ингибиторов АХЭ на *C. elegans* использовали потерю координации локомоторных мышц, необходимой для синусоидальных движений тела при плавании, индуцированном механическим стимулом, и паралич нематод (полную потерю спонтанной и индуцированной двигательной активности). Нарушения поведения нематод фиксировали с помощью стереоскопического микроскопа SMZ-05. Эксперименты по влиянию токсикантов на теплоустойчивость поведения нематод проводили в ультратермостате TW-2.02 при 36 °С с нематодами линии N2 и при 35 °С с нематодами линии IPE1. Эксперименты проводили в четырех повторностях. В каждом варианте эксперимента использовали 30 нематод. Статистическую обработку результатов проводили с использованием углового преобразования Фишера ϕ^* .

При температуре 22 °С алдикарб в концентрации 4–32 мкМ вызывал дозозависимые нарушения локомоции нематод обеих линий (табл.). Нематоды линии IPE1 были более чувствительны к токсическому действию алдикарба. При повышении температуры до 35–36°С алдикарб в концентрации 8–256 мкМ вызывал нарушения поведения у 100 % нематод обеих линий уже после 30-минутной экспозиции к нему (не показано). При увеличении времени экспозиции до 120 минут алдикарб оказывал не только токсическое, но и терапевтическое действие на локомоцию *C. elegans*. Протекторное действие алдикарба выражалось в снижении доли нематод, у которых наступил паралич, по сравнению с контролем. Максимальный протекторный эффект наблюдался при концентрации алдикарба 64 мкМ (рис. 1).

Таблица

Токсическое действие алдикарба на организм *Caenorhabditis elegans* при температуре 22 °С

Концентрация алдикарба	Доля нематод с нормальным поведением, %		Доля нематод с нарушениями моторной программы плавания, %		Доля нематод, у которых наступил паралич, %	
	30 мин	120 мин	30 мин	120 мин	60 мин	120 мин
	Линия N2					
	30 мин	120 мин	30 мин	120 мин	60 мин	120 мин
4 мкМ	93,8±4,2	68,8±8,1	6,2±4,2	31,2±8,1		
8 мкМ	75,0±7,6	41,3±8,7	25,0±7,6	58,7±8,7		
16 мкМ	66,3±8,3	10,0±5,3	33,7±8,3	90,0±5,3		
32 мкМ	50,0±8,8		50,0±8,8	100,0		
	Линия IPE1					
	30 мин	120 мин	30 мин	120 мин	60 мин	120 мин
4 мкМ			100	81,3±6,8	6,2±4,2	18,7±6,8
8 мкМ			100	56,2±8,7	12,5±5,5	43,8±8,7
16 мкМ			100	56,2±8,4	12,5±5,8	43,8±8,7
32 мкМ			100	43,8±8,7	12,5±5,8	56,2±8,7

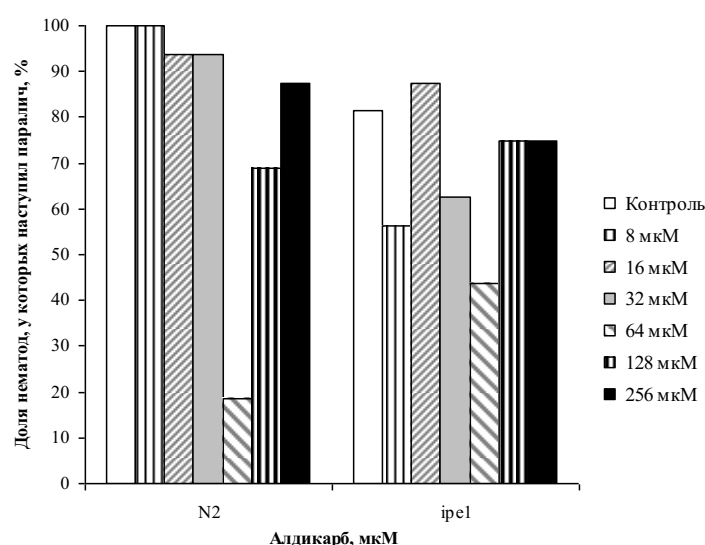


Рис. 1. Действие алдикарба на *C. elegans* линии N2 при 36 °С и линии IPE1 при 35 °С. Время экспозиции к алдикарбу 120 минут

Неостигмин в диапазоне концентраций 0,4–6,4 мМ защищал локомоцию нематод линии N2 от повреждающего действия температуры 36 °С после 30-минутной инкубации. Токсическое действие неостигмина проявлялось лишь при его концентрации 13 мМ (рис. 2). Протекторный эффект неостигмина на поведение нематод сохранялся при увеличении времени экспозиции до 120 минут (рис. 3). Максимальный терапевтический эффект неостигмина достигается при концентрации 1,6 мМ после 30-минутной экспозиции к нему нематод обеих линий, но амплитуда эффекта значительно больше в линии IPE1.

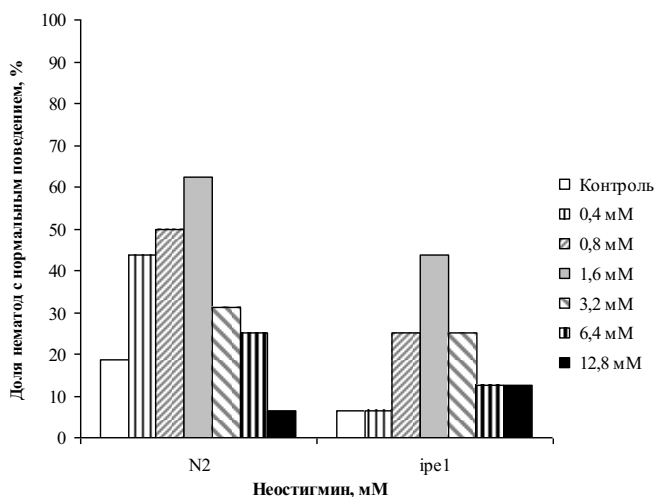


Рис. 2. Действие неостигмина на *C. elegans* линии N2 при 36 °С и линии IPE1 при 35 °С. Время экспозиции к неостигмину 30 минут

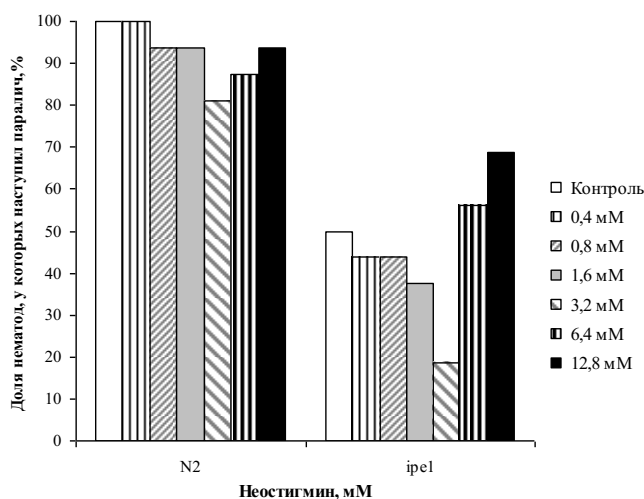


Рис. 3. Действие неостигмина на *C. elegans* линии N2 при 36 °С и линии IPE1 при 35 °С. Время экспозиции к неостигмину 120 минут

В наших экспериментах выявлены различия в действии ингибиторов АХЭ алдикарба и неостигмина на нематод линий N2 и IPE1. При оптимальной температуре среды алдикарб оказывал более сильное токсическое действие на нематод линии IPE1, чем на нематод линии N2. Это проявлялось в большей доле *C. elegans* с нарушениями моторной программы плавания после

30-минутной инкубации с алдикарбом и наступлении паралича нематод линии IPE1 уже через 60 минут экспозиции к алдикарбу. У нематод линии N2 паралич не наступал после 120 минут инкубации с алдикарбом (табл.).

Терапевтический эффект ингибиторов АХЭ проявлялся при превышении физиологического оптимума температуры (36 °С для линии N2 и 35 °С для линии IPE1). Терапевтический эффект алдикарба проявлялся в уменьшении доли нематод, у которых наступал паралич после 120-минутной экспозиции к нему при высокой температуре (рис. 1). Протекторное действие неостигмина на локомоцию *C. elegans* заключалось в увеличении доли нематод с нормальным поведением после 30-минутной экспозиции к высокой температуре и снижении доли нематод, у которых наступил паралич в течение 120 минут инкубации при высокой температуре (рис. 2–3).

Различия в чувствительности нематод линий N2 и IPE1 к исследованным ингибиторам АХЭ и особенности проявления терапевтического эффекта алдикарба и неостигмина при превышении физиологического оптимума температуры могут объясняться несколькими причинами. Неостигмин и алдикарб относятся к карбаматным ингибиторам АХЭ. При этом неостигмин является одним из обратимых ингибиторов АХЭ, многие из которых применяются в медицине. Алдикарб является квазиобратимым ингибитором АХЭ, к которым относятся такие фосфорорганические соединения как зарин, зоман, малатион, дихлофос и др. [1, 3, 9–10]. Более высокая, по сравнению с линией N2, чувствительность линии IPE1 как к токсическому, так и терапевтическому действию алдикарба и неостигмина может объясняться различиями в уровне эндогенного ацетилхолина либо разной чувствительностью к нему холинорецепторов.

Библиографический список

1. Acetylcholinesterase inhibitors: pharmacology and toxicology / M. B. Čolović, D. Z. Krstić, T. D. Lazarević-Pašti, A. M. Bondžić, V. M. Vasić // *Curr. Neuropharmacol.* 2013. Vol. 11. P. 315–335. doi: 10.2174/1570159x11311030006
2. Comparative effect of pesticides on brain acetylcholinesterase in tropical fish / C. R. D. Assis, A. G. Linhares, V. M. Oliveira, R. C. P. França, E. V. M. M. Carvalho, R. S. Bezerra, L. B. Jr. de Carvalho // *Sci. Total Environ.* 2012. Vol. 441. P. 141–150. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.09.058
3. Baron R. L. A carbamate insecticide: a case study of aldicarb // *Environ. Health. Perspect.* 1994. Vol. 102. P. 23–27. doi: 10.1289/ehp.94102s1123
4. Kalinnikova T. B., Kolsanova R. R., Gainutdinov M. Kh. *Caenorhabditis elegans* as a convenient model organism for understanding heat stress effects upon intact nervous system // In: *Heat Stress: Causes, Treatment and Prevention* / Eds. Stanislas Josipovich and Elias Ludwig. NY : Nova Science Publishers, 2012. P. 113–140.
5. Acetylcholine deficiency in *Caenorhabditis elegans* induced by hyperthermia can be compensated by ACh-esterase inhibition or activation of GAR-3 mAChRs / T. B. Kalinnikova, R. R. Shagidullin, R. R. Kolsanova, E. B. Osipova, S. V. Zakharov, M. Kh. Gainutdinov // *Environment and Natural Resources Research.* 2013 Vol. 3. No. 3. P. 98–113. doi: 10.5539/enrr.v3n3p98
6. Opposite responses of the cholinergic nervous system to moderate heat stress and hyperthermia in two soil nematodes / T. B. Kalinnikova, R. R. Kolsanova, E. B. Belova,

R. R. Shagidullin, M. Kh. Gainutdinov // Journal of Thermal Biology. 2016. Vol. 62. P. 37–49. doi: 10.1016/j.jtherbio.2016.05.007

7. Характеристика новых линий *Caenorhabditis elegans* с высокой и низкой термотолерантностью / М. Х. Гайнутдинов, А. Х. Тимошенко, Т. М. Гайнутдинов, Т. Б. Калининкова // Генетика. 2007. Т. 43, № 9. С. 1218–1225.

8. Brenner S. The genetics of *Caenorhabditis elegans* // Genetics. 1974. Vol. 77. P. 71–94. doi: 10.1093/genetics/77.1.71

9. Metcalf R. L., Horowitz A. R. Insect control // Ullmann's Encyclopedia of industrial chemistry. Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, 2014. doi: 10.1002/14356007.s14_s01

10. Kinetic and physicochemical properties of brain acetylcholinesterase from the peacock bass (*Cichla ocellaris*) and in vitro effect of pesticides and metal ions / K. C. C. Silva, C. R. D. Assis, V. M. Oliveira, L. B. Jr. Carvalho, R. S. Bezerra // Aquat. Toxicol. 2013. Vol. 126. P. 191–197. 10.1016/j.aquatox.2012.11.001

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО (*POPULUS BALSAMIFERA* L.) И ЛИПЫ СЕРДЦЕВИДНОЙ (*TILIA CORDATA* MILL.) г. КИРОВА

Е. Д. Кафтайлова, Г. Н. Ходырев

Вятский государственный университет, gph3@mail.ru

Проведена оценка степени повреждений листьев тополя бальзамического и липы сердцевидной зеленых насаждений г. Кирова на трех участках в центре города: ул. Ленина, парк им Ю. Гагарина, ул. Спасская. Определена частота встречаемости разных типов повреждений листьев.

Ключевые слова: зеленые насаждения, озеленение, повреждения листьев, средозащита, экология городской среды.

Зеленые насаждения являются органической частью планировочной структуры современного города и выполняют в нем разнообразные функции. Эти функции можно подразделить на две большие группы: санитарно-гигиенические и декоративно-планировочные. Зеленые насаждения поглощают углекислый газ и выделяют кислород; задерживают пыль, дым, копоть; уничтожают патогенные микроорганизмы; снижают уличные шумы; успокаивающе действуют на нервную систему человека, укрепляя ее и повышая работоспособность. Деревья и кустарники улучшают микроклимат: смягчают жару, защищают от ветра, увлажняют воздух. Кроме того, выступают средством противопожарной охраны, задерживая кронами распространение огня; укрепляют берега оврагов и крутых берегов. Используются для создания живых изгородей, садозащитных полос, защиты дорог от снежных заносов. Служат средой обитания и источником питания для городской фауны [1, 2].

Основной ассортимент зеленых насаждений составляют виды деревьев и кустарников, которые длительное время произрастают в городских насаждениях и не теряют своих декоративных качеств. К ним относятся, например,

береза, клен, липа, тополь, ель, лиственница, ива из кустарников калина, шиповник, дерен, бересклет, боярышник и т. д. [3].

Важной проблемой является сохранение устойчивости городских насаждений, повышение их продуктивности, обеспечение средозащитной и средоформирующей роли. Одним из факторов, влияющих на состояние городских насаждений, являются насекомые фитофаги. Повреждения, вызываемые ими, могут приводить к ослаблению, усыханию, снижению декоративности и экологической полезности растений. В исследованиях показано, что при повреждении листьев изменяется количество и соотношение фотосинтетических пигментов, что вызывает угнетение фотосинтеза [3, 4].

Состав насекомых-вредителей изменяется в зависимости от различных условий. Наиболее часто встречаются следующие вредители: тополевая минирующая моль-пестрянка (*Lithocollrtis obliquifascia* Fil.), липовый рожковидный клещик (*Eriopyes tiliae var. rudis* Nal.), липовый войлочный клещик (*Eriopyes tiliae var. liosoma* Nal.), липовая тля (*Eucallipterus tiliae* L.), листоеды, пилильщики и др. [5, 6]. Возраст насаждения, его породные состав, влияние на него комплекса факторов может создать оптимальные условия для возникновения массового поражения вредителями [3, 5].

Целью нашего исследования была оценка степени повреждения листьев тополя и липы в центральной части г. Кирова. Для оценки степени повреждения проводили сбор листьев тополя бальзамического – *Populus balsamifera* L. и липы сердцевидной – *Tilia cordata* Mill. в августе-сентябре 2019–2020 гг.

Для обследования были выбраны одновозрастные деревья в центре города на трех участках: участок № 1 – на ул. Спасской (двор корпуса № 1 ВятГУ; Музыкальный сквер), участок № 2 – на ул. Ленина (вдоль проезжей части у д. № 76, 79В, 88А, 98, 102), участок № 3 – парк им. Ю. Гагарина. Всего исследовано 7 деревьев тополя и 7 деревьев липы. С каждого дерева собрано по 50 листьев (всего 700 листьев).

В лабораторных условиях проводили учет повреждений: определяли тип повреждений, количество повреждений каждого типа, измеряли площадь листовой пластины и площадь мин. Площадь рассчитывалась при помощи палетки с размером ячейки 1x1 см.

Обобщенные результаты измерений приведены в таблице.

Таблица

Оценка степени повреждения листьев

Тип повреждений	Участок					
	№ 1		№ 2		№ 3	
	в сред. на листе	встречаемость*	в сред. на листе	встречаемость	в сред. на листе	встречаемость
1	2	3	4	5	6	7
Тополь бальзамический – <i>Populus balsamifera</i> L.						
Галлы	–	–	1	5	–	–
Мины	2,0 (7% от S листа)	62	2,0 (13% от S листа)	85	1,4 (4% от S листа)	71

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Скелетирование	1,3	12	1,5	12	1,2	11
Объедание	3,4	16	1	2	1,9	18
Доля листьев без повреждений, %	27		<1		49	
Липа сердцевидная – <i>Tilia cordata</i> Mill.						
Галлы	2,1	25	4,5	34	3,2	21
Мины	1,6 (3% от S листа)	53	1,3 (3,5% от S листа)	46	1,2 (1% от S листа)	56
Скелетирование	1,0	3	1,0	2	2,0	4
Объедание	3,5	20	1,4	20	1,7	28
Доля листьев без повреждений, %	30		<1		47	

Примечание: * – частота встречаемости среди всех типов повреждений в %.

На листьях и тополя, и липы обнаружены четыре типа повреждений: объедание, скелетирование, минирование, галлы [6].

На всех трех обследованных участках наиболее часто встречающимся типом повреждений листьев является минирование. Особенно много мин на листьях тополя (до 85% от всех типов повреждений). При этом площадь мин на листе в среднем достигает до 13% от площади листа.

В отличие от тополя на липе в большом количестве встречаются галлы, являясь вторым по встречаемости типом повреждений (до 34%).

Распределение типов повреждений на всех трех участках примерно одинаково, но доля листьев без повреждений значительно выше на листьях с деревьев парка им. Гагарина (участок № 3) и достигает 49%. Меньше всего целых листьев на деревьях с ул. Ленина (участок № 2), их доля менее 1%. Вероятно, снижение иммунной защиты деревьев зеленых насаждений, растущих вдоль дорог, обусловлена сильным воздействием негативных факторов (выхлопные газы, противогололедные реагенты и др.).

Библиографический список

1. Домнина Е. А., Савиных Н. П., Ходырев Г. Н. О состоянии тополей в озеленении г. Кирова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2019. С. 297–300.
2. Шабалина И. А. Деревья и кустарники для озеленения населенных мест Кировской области (в помощь учителю и озеленителю). Киров : Кировский государственный педагогический университет им. В. И. Ленина, 1966. 78 с.
3. Бухарина И. Л., Журавлева А. Н., Большова О. Г. Городские насаждения: экологический аспект : монография. Ижевск : Удмуртский университет, 2012. 206 с.
4. Кормилицына О. В. К вопросу о факторах, негативно влияющих на состояние городских насаждений // Лесной вестник, 2000. № 6. С. 155–160.
5. Бей-Биенко Г. Я. Общая энтомология. М. : Высшая школа, 1966. 496 с.
6. Гусев В. И. Определитель повреждений лесных, декоративных и плодовых деревьев и кустарников: определитель. М. : Лесная промышленность, 1984. 472 с.

НЕКОТОРЫЕ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЫЖЕЙ ПОЛЕВКИ В УСЛОВИЯХ КОЛОГРИВСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

А. С. Климова¹, М. В. Сиротина^{1,2}

¹ Костромской государственный университет,
Klimova.A.S.ecology@yandex.ru

² ФГБУ «Государственный природный заповедник «Кологривский лес»
имени М. Г. Сеницына», mvsiroтина@gmail.com

В статье рассмотрены особенности гематологических показателей рыжей полевки на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына». Прослеживается зависимость иммунного статуса грызунов от пола. Установлена прямая статистическая зависимость размера эритроцитов от массы тела особей и обратная статистическая зависимость размера эритроцитов от их общего содержания в крови грызунов.

Ключевые слова: кровь мышевидных грызунов, гематологические показатели, рыжая полевка, заповедник «Кологривский лес».

Изменения абиотической и биотической среды приводят к сдвигу физиологических процессов у организмов. Это отражается на количественных и качественных особенностях системы крови, что определяет необходимость гематологических исследований.

Полученные данные расширяют и углубляют представления об особенностях адаптационных механизмов грызунов и характере изменений, которые происходят в организме при воздействии различных факторов среды и обеспечивают гомеостатическое равновесие всей популяции.

Цель исследования – провести оценку гематологических параметров популяции рыжей полевки в условиях Кологривского заповедника.

Работы проведены в летний период в 2021 году на территории ГПЗ «Кологривский лес» в следующих биотопах: ельник липовый, ельник березовый и смешанный лес. Доминирующим видом мышевидных грызунов на данной территории является *Myodes glareolus* (Schreber, 1780). Для отлова грызунов были использованы живоловки, принцип расположения которых был основан на методе ловушко-линий [1].

Забор крови у объектов исследований осуществлялся путем ампутации хвоста или пункции сердца с использованием вакуумных пробирок ЭДТА 3 после наркоза эфиром [2]. Все манипуляции с мелкими млекопитающими проводили в соответствии с Международными рекомендациями (этическим кодексом) по проведению медико-биологических исследований с использованием животных (1985). Для оценки параметров периферической крови у особей популяции рыжей полевки определены: количество лейкоцитов, лейкоцитарная формула, содержание эритроцитов, лейкоцитарные и эритроцитарные

индексы крови, уровень гемоглобина, морфометрические параметры клеток крови.

Изготовление мазка крови проводили по стандартной методике (Меньшиков М. В. и др., 1987). Мазки крови фиксировали и окрашивали с помощью раствора Лейшмана. Преимущество данного раствора заключается в том, что в его состав входит метиловый спирт и его можно использовать как для фиксации, так и для окрашивания мазка крови. Уровень гемоглобина в крови определяли с помощью портативного анализатора крови EasyTouch GCHb (Тайвань, Китай).

Нами исследованы 48 особей (самок – 28,57 %, самцов – 71,43 %), которые преимущественно представлены созревшими сеголетками, в среднем, в возрасте 35 дней (52,78 % от всей выборки), что свидетельствует о процессах интенсивного наращивания численности в популяции.

Сравнительный анализ содержания лейкоцитов в крови самцов и самок рыжей полевки статистически достоверных различий не показал, среднее значение содержания лейкоцитов в крови грызунов составило $11,78 \pm 1,49$ тыс. в мм^3 .

При этом отмечены статистически достоверные различия в содержании некоторых форм лейкоцитов (рис.).

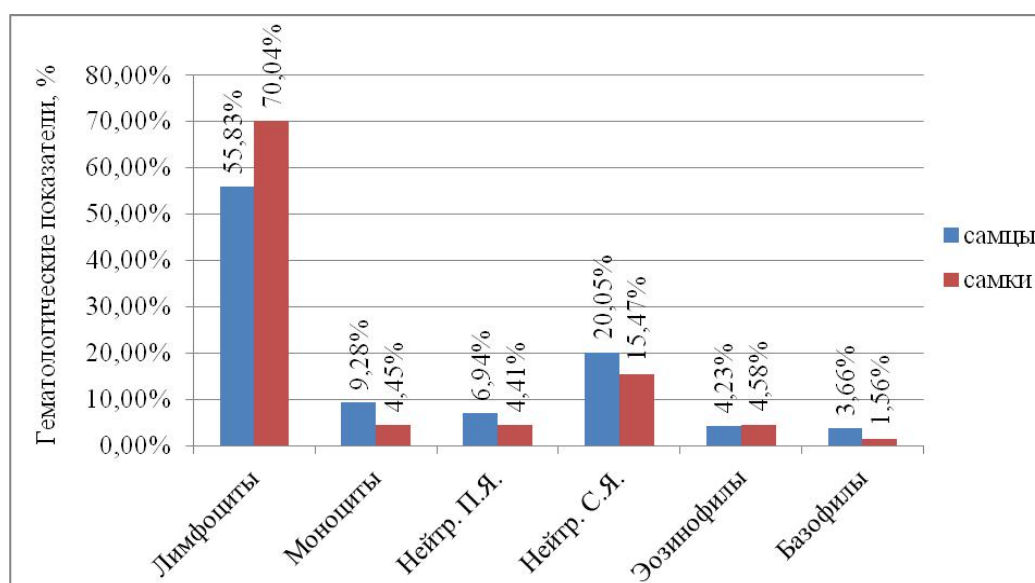


Рис. Иммунологические показатели крови рыжей полевки на территории ГПЗ «Кологривский лес»

В лейкограмме грызунов преобладают лимфоциты (рис.). Относительно наибольший процент установлен у самок исследуемой популяции – 70,04%, что в 1,25 раза выше чем у самцов ($p < 0,05$). Данный результат говорит о повышении защитных свойств крови самок, в связи со значительными нагрузками на организм в период интенсивного размножения (беременность, лактация).

Кроме того, в крови грызунов велика доля сегментоядерных нейтрофилов, относительно наибольший показатель установлен у самцов популяции

рыжей полевки – 20,05 %, у самок данный показатель немного меньше, однако статистически достоверных различий не установлено.

Аналогично, доля палочкоядерных нейтрофилов в крови относительно выше у самцов рассматриваемой популяции. Здесь содержание палочкоядерных нейтрофилов в крови грызунов составляет 6,94 %, что в 1,6 раза выше чем у самок ($p < 0,01$).

В целом процентное содержание нейтрофилов в крови рыжей полевки в Кологривском заповеднике составило от 19,88 % до 26,99 %, что находится в границах референтных значений [3]. Небольшой процент приходится на содержание следующих типов лейкоцитов: эозинофилы – от 4,23% до 4,58 %, базофилы – от 1,56 % до 3,66 % и моноциты – от 4,45 % до 9,28 % (у самцов содержание моноцитов в крови достоверно в 2 раза выше чем у самок, $p < 0,01$).

В периферической крови грызунов миелоциты не встречены, что является нормой, так как они представляют собой молодые клетки гранулоцитарного роста и находятся в костном мозге.

Для оценки работы эффекторных механизмов иммунной системы определены лейкоцитарные и эритроцитарные индексы крови исследуемой популяции мышевидных грызунов (табл.).

Таблица

**Показатели крови популяции рыжей полевки на территории
ГПЗ «Кологривский лес», %**

Показатели крови	Самцы ♂		Самки ♀		t♂/♀*
	X±Sx	Cv	X±Sx	Cv	
Гемоглобин, г/л	143,0±1,63	11,64	106,0±1,05	1,00	13,54
Эритроциты, млн в мм ³	11,21±0,85	34,34	10,26±0,64	15,98	0,75
Цветной показатель, ед.	0,38±±0,01	2,63	0,35±0,01	2,86	2,97
Гематокрит (Ht), %	51,80±1,98	3,82	42,70±1,40	3,28	2,31
Диаметр эритроцитов, мкм	5,25±0,25	6,73	5,45±0,31	11,26	0,58
Средний объем эритроцита (MCV), мкм ³	46,2±0,83	1,79	41,6±0,25	0,60	5,15
Среднее содержание гемоглобина (MCH), %	12,75±0,21	1,65	10,33±0,19	1,84	9,83
Среднее концентрация гемоглобина (MCHC), %	27,6±0,58	2,10	24,8±0,30	1,21	4,18
Индекс сдвига лейкоцитов (ИСЛК), ед.	0,54±0,01	2,83	0,35±0,002	2,15	18,99
Масса тела особей, г	36,8±0,80	4,86	27,00±1,15	7,41	4,62

Примечание: *статистическая значимость различий средних значений показателей крови у самцов и самок популяции рыжей полевки на территории ГПЗ «Кологривский лес».

Сравнительный анализ показателей крови показал, что содержание гемоглобина в крови достоверно в 1,35 раза выше у самцов чем у самок рассматриваемой популяции ($p < 0,01$) (табл.).

Содержание эритроцитов в крови самцов несколько выше чем у самок, однако статистически достоверных различий не установлено. Среднее значе-

ние содержания эритроцитов в крови грызунов популяции рыжей полевки на территории Кологривского заповедника составляет $10,74 \pm 0,75$ млн в мм^3 .

Достоверные половые различия установлены для цветного показателя, который у самцов исследуемой популяции несколько выше чем у самок ($p < 0,05$). Данный результат можно объяснить относительно большей кислородной емкостью циркулирующей крови у самцов в результате интенсивного процесса обновления крови при наличии благоприятных условий окружающей среды, при этом у самок данный процесс замедлен в связи с затратами организмом энергии в летний период на вынашивание потомства [4].

Гематокритная величина также относительно выше в 1,21 раза у самцов чем у самок ($p < 0,05$), что обусловлено относительно большим количеством и объемом эритроцитов в крови грызунов.

Аналогично установлены достоверные половые различия в величинах эритроцитарных индексов ($p < 0,01$), что можно объяснить особенностями экологии исследуемого вида.

Данные литературы по влиянию пола на размеры эритроцитов у млекопитающих противоречивы [5]. В настоящей работе статистически достоверные половые различия в размерах эритроцитов у грызунов не установлены, среднее значение диаметра эритроцитов в крови составляет $5,25 \pm 0,25$ мкм.

Наиболее удобным индикатором наличия хронического воспаления и стресса является индекс сдвига лейкоцитов. Данный индекс в исследуемой популяции находится в пределах условной нормы, грызуны являются здоровыми по данному показателю.

Кроме того, установлена прямая статистическая зависимость размера эритроцитов от массы тела особей (коэффициент корреляции составляет 0,75) и обратная статистическая зависимость размера эритроцитов от их общего содержания в крови грызунов (коэффициент корреляции равен -0,67), что соответствует результатам исследований других авторов [5].

Таким образом, проведены комплексные гематологические исследования грызунов популяции рыжей полевки на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес им. М. Г. Сеницына». В исследуемой популяции отмечен половой диморфизм в содержании некоторых форм лейкоцитов в крови (лимфоциты, палочкоядерные нейтрофилы, моноциты), в значении гемоглобина, цветного показателя, величины гематокрита, а также в значениях эритроцитарных индексов. Достоверно статистические различия в содержании эритроцитов и лейкоцитов в крови рыжей полевки не выявлены. Кроме того, установлена прямая статистическая зависимость размера эритроцитов от массы тела особей и обратная статистическая зависимость размера эритроцитов от их общего содержания в крови грызунов.

Библиографический список

1. Шефтель Б. И. Методы учета численности мелких млекопитающих // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2018. Т. 3. № 3. С. 1–21. doi: 10.21685/2500-0578-2018-3-4
2. Амиров Д. Р., Тамимдаров Б. Ф., Шагеева А. Р. Клиническая гематология животных: Учебное пособие. Казань : Центр информационных технологий КГАВМ, 2020. 134 с.

3. Опыт проведения клинико-лабораторных исследований в доклинической оценке безопасности лекарств (часть 1 : гематологические исследования) / А. В. Сорокина, С. В. Алексеева, Н. В. Еремина, А. Д. Дурнев // Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2019. Т. 9. № 3. С. 197–206. doi: 10.30895/1991-2919-2019-9-3-197-206

4. Сабанова Р. К. Изменение гематологических показателей млекопитающих и ее адаптивные способности // Успехи современного естествознания. 2012. № 12. С. 136.

5. Морфометрические параметры эритроцитов у некоторых видов отряда Rodentia / А. Г. Кижина, С. Н. Сергина, Л. Б. Узенбаева, В. А. Илюха, Э. Ф. Печорина, Е. П. Антонова, А. Е. Якимова, Д. В. Панченко // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 6. С. 123–132. doi: 10.17076/eb940

МОНИТОРИНГ ГЕЛЬМИНТОВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ МЛЕКОПИТАЮЩИХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О. В. Масленникова, С. А. Лимендова

*Вятский государственный агротехнологический университет,
olgamaslen@yandex.ru, limendova@mail.ru*

В статье рассмотрена трансформация гельминтофауны зайца-беляка и видовой состав гельминтов ондатры. В настоящий момент не зарегистрированы у зайца-беляка два вида трематод и два вида цестод. У ондатры выявлено 3 вида гельминтов – 2 вида трематод и 1 вид цестод (ларва).

Ключевые слова: гельминты, заяц-беляк, ондатра, нематоды, трематоды, цестоды, трансформация.

Гельминтофауна диких и домашних млекопитающих Кировской области находится на стадии изучения. В настоящее время у них установлено более 80 видов паразитических червей. Тем не менее, видовой состав гельминтов у разных видов хозяев может изменяться, дополняться в зависимости от условий обитания хозяина, инвазии некоторых видов из других регионов страны. Примером может служить паразит собак нематода *Dirofilaria repens*, обитающая в подкожной клетчатке. Этот новый паразитический вид завезен в нашу область в 90-е годы прошлого века вместе с овчарками, которые по полгода несли службу в южных регионах страны. Первое время (2013 г.) нематода у собак регистрировалась преимущественно в г. Кирове, а в настоящее время успешно распространилась по всем районам области. Распространению этой нематоды «помогли» местные комары из рода *Culex*, которые служат промежуточными хозяевами данного паразита. В этот гельминтозооноз включился и человек, который заражается при укусе комара (в 2008 г. паразит был впервые зарегистрирован у человека в Кировской области). Есть угроза попадания его в природные биоценозы. Поэтому остается актуальной задача изучения гельминтов диких и домашних животных.

Методом полного и неполного гельминтологического вскрытия [1] было исследовано 30 особей из 2 отрядов: Lagomorpha – 17 зайцев-беляков,

Rodentia – 13 ондатр. Три зайца-беляка исследовано из Тоншаевского района Нижегородской области, остальные млекопитающие из Кировской области. Из 17 зайцев 10 было исследовано неполным гельминтологическим вскрытием. Видовой состав гельминтов определяли по Е. В. Гвоздеву и др. [2]. Рассчитывалась экстенсивность инвазии (ЭИ) и интенсивность инвазии (ИИ).

Изучение гельминтов зайца-беляка в Кировской области имеет свою историю. Первые исследования в 40-х гг. прошлого века были сделаны С. П. Наумовым [3, 4]. Он обнаружил в желчных ходах печени у зайца-беляка трематоды *Fasciola hepatica* и *Dicrocoelium lanceatum*. Заяц-беляк им был установлен как промежуточный хозяин таких цестод, как *Taenia pisiformis* (larvae), *Multiceps serialis* (larvae). Всего им было выявлено у зайца-беляка 9 видов гельминтов. В дальнейшем изучении гельминтофауны зайца-беляка Кировской области занимались А. И. Колеватова и др. [5, 6]. Этими исследователями выявлено у зайца-беляка 6 видов паразитических червей. Мы также у зайцев-беляков выявили 6 видов гельминтов, но их видовой состав несколько отличается (табл.).

Таблица

Видовой состав гельминтов зайца беляка в Кировской области по данным разных авторов и нашим исследованиям

№	Виды гельминтов	С. П. Наумов [3, 4]	А. И. Колеватова и др. [5, 6]	О. В. Масленникова [7], наши данные
1.	<i>Fasciola hepatica</i> (L., 1758)	+	-	-
2.	<i>Dicrocoelium lanceatum</i> (Stiles et Hassall, 1896)	+	-	-
3.	<i>Taenia pisiformis</i> (larvae) (Bloch, 1780)	+	+	-
4.	<i>Taenia macrocystis</i> (Diesing, 1850)	-	+	+
5.	<i>Multiceps serialis</i> (larvae) (Gervais, 1847)	+	-	-
6.	<i>Mozgovojia pectinata</i> (Goeze, 1782)	+	+	+
7.	<i>Protostrongylus terminalis</i> (Passerini, 1884)	+	+	+
8.	<i>Protostrongylus kamensky</i> (Schulz, 1930)	+	+	+
9.	<i>Trichostrongylus retortaeformis</i> (Zeder, 1809)	+	-	+
10.	<i>Graphidium strigosum</i> (Dujardin, 1845).	+		+
11.	<i>Trichostrongylus colubriformis</i> (Giles, 1892)	-	+	-

Для зайца типичными гельминтами в Кировской области являются нематоды-простронгилиды: *Protostrongylus terminalis* (Passerini, 1884) и *P. kamensky* (Schulz, 1930), паразитирующие в легких животных. При сильной инвазии *P. terminalis* образует серые плотные очаги по краю легкого. При слабой зараженности его можно обнаружить только в результате гельминтологического вскрытия. Первые были нами обнаружены у всех обследованных особей (ЭИ – 100%), *P. kamensky* у одного (ЭИ – 14,3%). В желудочно-кишечном тракте нами было зарегистрировано 2 вида нематод: *Trichostrongylus retortaeformis* (Zeder, 1809) и *Graphidium strigosum* (Dujardin, 1845). Последние пред-

ставляют нитевидные нематоды красного цвета, обнаружены у 1 из 7 зайцев (ЭИ – 14,3%). *Trichostrongylus retortaeformis* (Zeder, 1809) обнаружены у одного молодого зайца из Тоншаевского района в тонком отделе кишечника в количестве 4496 экз., у другого (взрослого) из Кировской области – 71 экз. Этот вид удалось установить по форме половой бурсы самца, величине и форме его спикул. ЭИ– 28,6%.

У зайца из Арбажского района и Нижегородской области была найдена довольно крупная цестода *Mozgovojia pectinata* (Goeze, 1782), этот ленточный червь вылез в полость тела из прострела кишечника и напугал охотника. Экстенсивность инвазии составила 28,6%.

Taenia macrocystis (Diesing, 1850) обнаружена у 2 из 17 зайцев-беляков в 2 районах области Зуевском и Куменском, ЭИ – 11,8%, ИИ– 2-4 экз. Ранее ларвоциста этого вида была обнаружена у зайца-беляка в Якутии. Окончательные хозяева – хищные млекопитающие, главным образом кошачьи. Личиночные формы у зайца-беляка локализуются на серозных покровах брюшной полости и малой кривизны желудка.

Всего у зайца-беляка Кировской области зарегистрировано 11 видов паразитических червей, но нами обнаружено 6 видов. *Taenia pisiformis* (larvae) по данным опроса и нашим исследованиям у зайца-беляка не регистрируется с 70-х годов прошлого века, нет ее у окончательного хозяина – рыси. Данную цестоду вытеснила *Taenia macrocystis*. Перестала встречаться цестода *Multiceps serialis* (larvae) (Gervais, 1847) у зайцев, нет ее и у окончательных хозяев – хищных млекопитающих. Не регистрировалась трематода *Fasciola hepatica* (L., 1758).

У 13 ондатр обнаружено 3 вида паразитических червей. Ондатра – вид инвазивный, один вид паразитов трематода *Quinqueserialis quinqueserialis* Barker et Laughlin, 1911 была завезена из Америки. Промежуточные хозяева в России у нее точно не установлены. Экстенсивность инвазии – 28,0%, интенсивность инвазии – $5,3 \pm 1,2$ экз.

Другой вид паразита – это личиночная стадия ленточного червя кошачьих – *Hydatigera taeniaformis* Batsch, 1786 (larvae) – *Strobilocercus fasciolaris*. ЭИ 7,7%, ИИ -1 экз. Локализуется на печени ондатры.

У двух ондатр в кишечнике обнаружена еще одна трематода, вид пока не определен.

Таким образом, наши исследования показали, что гельминты диких и домашних животных Кировской области, в связи со своим высоким разнообразием, трансформацией биоценозов и заносом из других регионов, остаются не до конца изученными. Требуется дальнейший мониторинг паразитов млекопитающих, с целью обнаружения новых видов, которые могут представлять угрозу здоровью человека на данной территории.

Библиографический список

1. Ивашкин В. М., Контримавичус В. Л., Назарова Н. С. Методы сбора и изучения гельминтов наземных млекопитающих. М. : Наука, 1971. 121 с.

2. Определитель гельминтов зайцеобразных СССР / Е. В. Гвоздев, В. Л. Контримавичус, К. М. Рыжиков, Л. С. Шалдыбин. М. : Наука, 1970. 232 с.
3. Наумов С. П. Материалы по динамике паразитофауны млекопитающих. Сезонность заражения зайцев гельминтами и кокцидиями // Зоологический журнал. 1944. Т. 23, вып. 4. С. 181–188.
4. Наумов С. П. Экология зайца-беляка. М. : МОИП, 1947. С. 85–87.
5. Колеватова А. И., Ларионенков В. А. К вопросу о гельминтозной инвазии зайца-беляка в Кировской области // Тр. Кировского сельскохозяйственного института. Пермь, 1976. С. 108–114.
6. Колеватова А. И., Масленникова О. В., Завьялов А. Н. Зараженность зайца-беляка гельминтами в Зуевском районе Кировской области // Региональные и муниципальные проблемы природопользования : материалы 4-й межрегиональной науч.-практ. конф. Кирово-Чепецк, 1996. С. 51–52.
7. Масленникова О. В. Гельминты диких животных на северо-востоке Европейской части России. Saarbrücken : LAP LAMBERT, 2013. 153 с.

ОЦЕНКА ГИБЕЛИ МЛЕКОПИТАЮЩИХ НА ДОРОГАХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. А. Никонова

Вятский государственный университет, nastya.nikon5@gmail.com

Представлены обобщенные данные о случаях гибели млекопитающих на автомобильных дорогах и в дорожно-транспортных происшествиях на территории Кировской области в период 2021 г.

Ключевые слова: автодороги, дорожно-транспортное происшествие, животные, смертность, статистика.

С каждым годом на территории Кировской области возрастает количество гибели животных на дорогах. Только в сентябре 2021 г. в Кировской области зафиксировано 14 случаев наезда на лосей и 3 дорожно-транспортных происшествия (ДТП) с участием кабана. Всего с начала года зафиксировано 91 ДТП с дикими животными [1].

Данная проблема актуальна, так как количество автомобилей на дорогах возрастает. В Кировской области на конец прошлого года в собственности граждан и организаций зарегистрировано свыше 422 тыс. автомобилей, в том числе 367 тыс. легковых, 52 тыс. грузовых автомобилей и более 3 тыс. автобусов. Обеспеченность населения собственным легковым транспортом на конец 2021 года составила 284 автомобиля на 1000 человек. Для сравнения: в 2000 году на 1000 жителей приходилось 86 автомобилей [2].

По данным министерства охраны окружающей среды Кировской области в июне 2021 года в регионе произошло 33 дорожно-транспортных происшествия с участием диких животных. Из них 27 с участием лосей, 4 – кабанов, 1 – косули и 1 – лисицы. Это более чем в два раза превышает показатель июня 2020 года (15 наездов).

Чаще всего аварии с участием животных происходили в Яранском (5 ДТП); Кирово-Чепецком и Юрьянском районах (по 4); в г. Кирове, Котельничском и Советском районах (по 3 ДТП).

В данной работе мы сравним статистику аварий с участием животных на автомобильных трассах, имеющих наибольшую транспортную нагрузку на территории Кировской области. К таковым относятся: Казанский тракт, Советский тракт, федеральные трассы «Вятка» (Р-176) и Кострома – Киров – Пермь (Р-243). Длина исследуемых участков автодорог составляет: Казанский тракт – 410 км; Советский тракт – 137 км; Федеральная трасса Вятка – 342 км; Федеральная трасса Кострома – Киров – Пермь – 431 км.

Количество погибших зверей в результате дорожно-транспортных происшествий за 2021 г. [3] представлено в таблице 1.

Таблица 1

Количество погибших зверей на автодорогах в 2021 г.

Трасса	Количество погибших животных			
	Лось	Кабан	Лисица	Косуля
Казанский тракт	3	1	1	0
Советский тракт	13	1	0	0
Федеральная трасса «Вятка»	26	1	0	0
Федеральная трасса Кострома – Киров – Пермь	19	0	0	1
Всего	61	3	1	1

Для сравнения гибели животных на указанных автодорогах рассчитали относительную смертность зверей на километр автодороги (особ/км) (табл. 2)

Таблица 2

Относительность смертность зверей на автодорогах в 2021 г.

Трасса	Относительность смертность зверей на автодорогах			
	Лось	Кабан	Лисица	Косуля
Казанский тракт	0,007	0,002	0,002	0
Советский тракт	0,09	0,007	0	0
Федеральная трасса «Вятка»	0,08	0,003	0	0
Федеральная трасса Кострома – Киров – Пермь	0,04	0	0	0,002
Всего	0,217	0,012	0,002	0,002

Таким образом, большего всего за 2021 г. было сбито лосей, а именно на Советском тракте. На втором месте по смертности кабан. Столкновение с лисицами фиксируются реже в связи с «утилизацией». По этой же причине столкновение с другими животными, такими как заяц, еж и другие, не отмечают. Опираясь на эти данные можно сделать вывод, что чаще всего фиксируют ДТП с крупными животными.

Библиографический список

1. Рябов В. М., Никонова А. А. Оценка гибели позвоночных животных на техногенных объектах г. Киров // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XVI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2021. С. 349–350.

2. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2021 году : Региональный доклад / под общей ред. А. В. Албеговой. Киров : Министерство охраны окружающей среды Кировской области, 2021.

3. Геоинформационная система Кировской области [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.eco.geokirov.ru/> (дата обращения: 31.03.2022).

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ СРЕДООБРАЗУЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БОБРОВ

Д. В. Островский, В. М. Рябов
Вятский государственный университет,
OstrovskiyDV2001@mail.ru, ryapitschi@yandex.ru

Исследовано влияние средообразующей деятельности бобров на лесные насаждения на модельных участках на территории Подосиновского района Кировской области и в окрестностях города Кирова. Оценен экономический ущерб древостоям в результате подтопления.

Ключевые слова: евразийский (обыкновенный) бобр – *Castor fiber*, бобровое поселение, численность, древостой, ущерб

В настоящее время евразийский (обыкновенный) бобр – *Castor fiber* обычный вид во многих регионах европейской части России [1]. По данным ФГБУ «Центрохотконтроль» численность обыкновенного бобра в РФ на 2020 г. составила 746,8 тыс. особей. По сравнению с оценками начала 2000-х годов поголовье бобров увеличилось почти в два раза [2]. В Кировской области обитает около 37,94 тыс. особей евразийского бобра [3]. Такая численность этого животного является очень высокой и несет колоссальный экономический ущерб для человека [4]. В связи с этим исследования по оценке экономического ущерба от средообразующей деятельности бобров являются актуальными.

Исследования влияния средообразующей деятельности бобров проведены в августе – сентябре 2021 года и в январе 2022 года в окрестностях г. Кирова и в Подосиновском районе Кировской области.

Площадь затопления территории измерялась при помощи GPS навигатора Garmin 64. Названия лесничеств и участковых лесничеств, а также нумерация лесных кварталов дана с использованием сервиса «ГИС Лес Кировская область» [5].

Количественный учет бобров проводился методом выявления мощности поселения [6]. В связи с этим была принята следующая шкала оценки численности бобровых поселений: слабое – 1–2 бобра в поселении, среднее – 3–5, сильное 6–8 [7].

Всего было выявлено 5 поселений. Поселение № 1 – расположено в окрестностях г. Кирова на р. Мосалиха в 81 квартале Лянгасовского участкового лесничества Паркового лесничества. Средняя глубина реки не превыша-

ет полуметра. Окружающий древостой состоит из ели, березы и ольхи. Координаты центра «пруда» N 58.500981 E 49.616976. Максимальная ширина 28 м, длина 193 м. Длина плотины около 5 м, высота до 1 м. Поселение среднее по численности.

Поселение № 2 – находится в Подосиновском районе в окрестностях д. Фурсово. на р. Селифановица в 12 квартале Подосиновского участкового лесничества Пинюгского лесничества. Средняя глубина водотока около 40 см, ширина примерно 2 м. Окружающий древесный состав представлен в большей степени ольхой и осиной, незначительное количество ели. Координаты центра «пруда» N 60.376384 E 47.073467. Максимальная ширина 59 м, длина 132 м. Площадь затопления составила 0,873 га. Плотина длиной около 10 м и высотой 30–35 см. Поселение слабое по численности.

Поселение № 3 – располагается в Подосиновском районе в окрестностях д. Дурняково в 96 квартале Щеткинском участкового лесничества Пинюгского лесничества. Плотина построена на безымянном водотоке. Древесный состав смешанный, с преобладанием ольхи. Координаты центра «пруда» N 60.207154 E 47.543458. Максимальная ширина 82 м, длина 381 м. Площадь затопления около 2,76 га. Длина плотины 30–35 м. Максимальная высота плотины 70 см. Поселение среднее по численности.

Поселение № 4 – находится в Подосиновском районе в окрестностях д. Дурняково в 94 квартале Щеткинском участкового лесничества Пинюгского лесничества. Плотина возведена на безымянном ручье глубиной до 30 см рядом с автомобильной дорогой. Окружающий древесный состав состоит основном из ольхи и осины. Координаты центра «пруда» N 60.214087 E 47.517425. Максимальная ширина 41 м, длина 114 м. Площадь затопления примерно 0,790 га. Плотина длиной 15 м и высотой 0,5 м. Поселение среднее по численности.

Поселение № 5 – расположено в Подосиновском районе в окрестностях д. Паньково в 106 квартале Яхреньгского участкового лесничества Пинюгского лесничества. Плотина построена на реке Паданга. Глубина реки варьируется от 15 до 40 см. Координаты плотины N 60.157453 E 46.705786. Плотина шириной 3 м, высота 40 см. В поселении живет бобр-одиночка.

Таксация древостоя осуществлялась методом сплошного перечета с использованием массовых таблиц объема стволов по каждой породе [8]. Основные количественные показатели подтопленных лесных насаждений представлены в таблице 1.

Для расчета стоимости погибшего древостоя использовали усредненную текущую цену, выдвигаемую лесным участкам на аукционах (500 рублей за 1 м³).

Оценочные данные по возможной стоимости затопленной древесины на исследуемых участках представлены в таблице 2.

Таблица 1

Количество и объем затопленной древесины

№ участка	Площадь пруда, га	Количество стволов затопленной древесины, шт.						Объем затопленной древесины, м ³					
		Ель	Береза	Ольха	Осина	Черемуха	Общее	Ель	Береза	Ольха	Осина	Черемуха	Общее
1	1,465	42	24	28	3	2	99	8,93	8,11	3,53	1,81	0,15	22,53
2	0,873	7	3	15	11	–	36	0,75	0,07	0,88	0,45	–	2,15
3	2,761	7	9	26	12	2	56	3,07	0,86	2,32	0,93	0,04	7,22
4	0,790	–	5	29	17	–	51	–	0,35	2,79	2,28	–	5,42
5	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 2

Оценка потенциальной стоимости затопленного древостоя

№ участка	Площадь затопления, га	Объем затопленной древесины, м ³	Потенциальная стоимость затопленной древесины, руб
1	1,465	22,53	11200
2	0,873	2,15	1500
3	2,761	7,22	3600
4	0,790	5,42	2700
5	0	0	0

Значительный экономический ущерб на участке № 1 связан с тем, что поселение находится на речке с узкой поймой и не имеет врезанной долины, в связи с чем образовавшийся «пруд» подтапливает лесные насаждения. Малый экономический ущерб на участке № 2 обусловлен тем, что поселение находится рядом с автодорогой, а плотина перегораживает дренажную трубу под ней. Дорожные службы регулярно разрушают данную плотину, поэтому площадь затопления не достигает максимальных значений. Отсутствие экономического ущерба на участке № 5 связано с тем, что в поселении живет бобр-одиночка и водоток имеет высокие берега.

Таким образом, из 5 исследованных поселений, только в одном наблюдается значительный экономический ущерб, в остальных экономический ущерб незначительный, что обусловлено отличиями рельефа, шириной пойменных участков, облесенностью территории и расположением плотины на водотоке.

Библиографический список

1. Млекопитающие России: список видов и прикладные аспекты // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. Т. 56 / А. А. Лисовский, Б. И. Шефтель, А. П. Савельев, О. А. Ерамаков, Ю. А. Козлов, Д. Г. Смирнов, В. В. Стахеев, Д. М. Глазов. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2019. 191 с.

2. Характеристика численности основных видов охотничьих ресурсов в Российской Федерации в 2020 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ohotcontrol.ru/resource/2>. (дата обращения 23.03.2022).

3. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2020 году / под ред. А. В. Албеговой. Киров, 2021. 205 с.

4. Парфеева П. В., Терещенко О. В. Эколого-экономический ущерб, вызванный деятельностью бобров // Дни науки и инноваций НовГУ : материалы XXVIII научной конференции преподавателей, аспирантов и студентов НовГУ. В 2-х частях. Великий Новгород : Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2016. С. 153–157.

5. Карта лесных кварталов [Электронный ресурс]. – URL: <http://les.geokirov.ru/> (дата обращения 21.03.2022).

6. Лавров Л. С. Количественный учет речных бобров методом выявления мощности поселения // Методы учета и географического распространения наземных позвоночных. М. : Изд-во Академии наук СССР. С. 148–155.

7. Завьялов Н. А. Особенности экологии бобров (*Castor fiber*), заселяющих водоразделы и начальные звенья гидрографической сети // Зоологический журнал. 2012. Т. 91, № 4. С. 464–474.

8. Воробьева Т. С., Анчугова Г. В. Таксация леса и лесоустройство. Екатеринбург, 2015. С. 41.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ВИДА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ КРОВОСОСУЩИХ КОМАРОВ (DIPTERA: CULICIDAE)

Е. В. Панюкова, Д. М. Шадрин, А. А. Фатеева
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,

panjukova@ib.komisc.ru, shdima@ib.komisc.ru, fateeva@ib.komisc.ru

В работе приведены данные о выяснении соответствия определения видовой принадлежности комаров *Culex torrentium* Martini, 1925 и *Anopheles messeae* Meigen, 1818 по морфологическому, генетическому и экологическому критериям вида. Приведен пример использования экологического критерия вида для предварительной идентификации практически значимых видов комаров. Методом ДНК-штрихкодирования подтверждено обнаружение в фауне комаров Республики Коми потенциального переносчика вируса лихорадки Западного Нила – *C. torrentium*.

Ключевые слова: критерии вида, ДНК-штрихкодирование, ген CO1, Республика Коми, кровососущие комары, *Culex torrentium*, *Anopheles messeae*

Кровососущие комары хорошо известны как переносчики опасных арбовирусных инфекций. Представители комаров рода *Anopheles* Meigen, 1818 – потенциальные переносчики малярии [1], а комары рода *Culex* Linnaeus, 1758, такие как *C. pipiens* Linnaeus, 1758 и *C. torrentium* Martini, 1925 – основные переносчики вируса Западного Нила, что было доказано в ходе эксперимента по заражению комаров, выращенных из яиц [2]. Проблема идентификации кровососущих комаров (Diptera: Culicidae) остается актуальной, так как многие виды комаров сложно различаются морфологически. В литературе описан межлабораторный эксперимент, проведенный в Средиземноморском регионе,

по морфологической идентификации имаго и личинок комаров. В эксперименте принимали участие 19 лабораторий, в результате верная идентификация до вида составляла всего 64%, при этом 50% ошибочных определений приходилось на вид *Culex pipiens* [3]. Известно, что космополит *C. pipiens* относится к сложно определяемым видам, так как практически не отличается по морфологии личинок и имаго самок от близкого к нему западно-центрально-палеарктического вида *C. torrentium*. Имеются различия между этими видами по морфологии имаго самцов. Вид *C. torrentium* впервые был обнаружен на территории Республики Коми в Печоро-Илычском государственном заповеднике из сборов 1964 г. [4]. По данным литературы известно, что в границах данного региона вид ранее не регистрировался, вероятно, его не отличали от *C. pipiens*. Совместное использование генетических и морфологическими методов позволяет идентифицировать близкие видов комаров [5]. Использование экологического критерия для идентификации видов кровососущих комаров представляет научный и практический интерес.

Целью данной работы было использование экологического и генетического критериев вида для идентификации кровососущих комаров. В задачи исследования входило установление правильности определения видовой принадлежности комаров по экологии (экологической нише) вида и проверка определений генетическим критерием.

Материалом послужили 4 личинки старшего возраста (L. IV) родов *Anopheles* и *Culex*, собранные 10.06.2021 г. в искусственном водоеме возле фермы, в окрестностях д. Ивановка Сыктывдинского р-на Республики Коми (62°00'02" с.ш., 50°26'35" в.д.). Сбор личинок выполнен стандартной кюветой в различных частях искусственного водоема, затянутого ряской. Площадь поверхности водоема составила 220 м², глубина не превышала 1 м, плотность личинок комаров составляла 0,02 на 1 м². Дно водоема было забетонировано, в 50 м от водоема расположен коровник, вероятность попадания в водоем органических отходов с фермы весьма велика. Данный тип искусственных водоемов – типичная экологическая ниша для развития малярийных комаров и комаров рода *Culex*. Сбор личинок выполнен нами при температуре воды и воздуха 26 °С. Собранные личинки были помещены в 90 % этанол и доставлены в лабораторию в этот же день. Материал хранился в морозильной камере (при -20 °С), что обеспечило его сохранность и точную идентификацию в дальнейшем методами ДНК-штрихкодирования. В полевом дневнике во время сбора материала была произведена запись: материал отдан на генетическую идентификацию: 2 L. IV *Culex torrentium*, 2 L. IV *Anopheles messeae*. Названия видов были указаны в полевом дневнике предположительно, без специальной идентификации в лаборатории. Предварительное заключение о видовой принадлежности было сделано по экологическим и морфологическим признакам: типу водоема, температуре воды в водоеме, близости фермы, а также по внешним признакам и поведению личинок родов *Aedes* и *Culex*. В данных экологических условиях антропогенного загрязнения, при высокой температуре среды выживают только наиболее устойчивые виды комаров.

Нами использован эколого-морфологический подход для предварительной идентификации видов. Оба вида по морфологии личинок практически не отличаются от близких видов, надежная идентификация возможна генетическими методами. Генетический анализ (ДНК-штрихкодирование) материала был выполнен в Центре коллективного пользования Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Используются методы, ставшие классическими для кровососущих комаров, описанные ранее [5, 6].

В результате использования метода ДНК-штрихкодирования подтверждено совместное обитание преимагинальных стадий видов *Culex torrentium* Martini, 1924 и *Anopheles messeae*. При сравнении полученных нами последовательностей гена CO1 с последовательностями взятыми из баз генетических данных (NCBI, BOLD Systems) для двух образцов получили 100% сходства с *C. torrentium* и для других двух сходство на 99,39 % с *Anopheles messeae*. Таким образом, экологические условия, как и сроки развития изучаемых видов имеют черты сходства, что может быть использовано для предварительной идентификации видов при сборе материала на вирусы, переносимые этими видами комаров.

Исследование выполнено в рамках темы отдела экологии животных Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН «Разнообразие фауны и пространственно-экологическая структура животного населения европейского северо-востока России и сопредельных территорий в условиях изменения окружающей среды и хозяйственного освоения» № 1021051101423-9-1.6.12;1.6.13;1.6.14.

Библиографический список

1. Панюкова Е. В., Грицай А. Б. Эпидемиологическая характеристика видового состава кровососущих комаров (Diptera, Culicidae) европейского северо-востока России // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: (5 декабря 2019 г.). Книга 2. Киров : ВятГУ, 2019. С. 356–359.

2. *Culex pipiens* and *Culex torrentium* populations from Central Europe are susceptible to West Nile virus infection / M. Leggewie, M. Badusche, M. Rudolf, S. Jansen, J. Börstler, R. Krumkamp, K. Huber, A. Krüger, J. Schmidt-Chanasit, E. Tannich, S. C. Becker// One Health. 2016. Vol. 2. P. 88–94.

3. Identification of mosquitoes (Diptera: Culicidae): an external quality assessment of medical entomology laboratories in the MediLabSecure Network / F. Jourdain, M. Picard, T. Sulesco, N. Haddad, Z. Harrat, S. S. Sawalha, F. Günay, K. Kanani, T. Shaibi, D. Akhramenko, M. Sarih, E. Velo, L. Paronyan, I. Pajovic, C. Faraj, I. Sikharulidze, D. Putkaradze, J. Maric, G. Bosevska, E. Janceska, A. Bouattour, A. Hamidi, K. Sherifi, B. Alten, D. Petrić, V. Robert // Parasites & Vectors. 2018. № 11: 553. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3127-7>.

4. Панюкова Е. В. Фауна кровососущих комаров (Diptera: Culicidae) Печоро-Илычского заповедника Республики Коми // Паразитология. 2018. Т. 52. № 6. С. 476–484.

5. Морфологические и генетические различия между комарами *Culex vagans* Wiedermann, 1828 и *Culex torrentium* Martini, 1925 (Diptera, Culicidae) / М. В. Федорова, Е. В. Шайкевич, К. А. Сычева, А. В. Халин, И. М. Махинова, Л. А. Ганушкина// Энтомологическое обозрение. 2021. Т. 100. № 3. С. 556–569.

6. Фауна и экология кровососущих комаров (Diptera: Culicidae) государственного природного заповедника «Нургуш» Кировской области / Е. В. Панюкова, Л. Г. Целищева, С. В. Пестов, А. А. Колесникова, С. В. Бакка, М. В. Шарахова // Паразитология. 2020. Т. 54. № 4. С. 322–340.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИХТИОФАУНЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КОЙГОРОДСКИЙ»

В. И. Пономарев

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

Представлены результаты рекогносцировочного исследования состава ихтиофауны ранее практически не изученных участков рек Мытец, Суран и Сенюк, входящих в территорию национального парка «Койгородский». Установлено обитание здесь 10 видов рыб из четырех семейств: щука, уклейка, пескарь, язь, плотва, елец, обыкновенный голянь, усатый голец, ерш и окунь.

Ключевые слова: национальный парк «Койгородский», фауна рыб, изученность, водотоки бассейнов Волги и Северной Двины.

В 2019 г. в Республике Коми создана третья (после Печоро-Илычского заповедника и национального парка «Югыд ва») федеральная особо охраняемая природная территория – национальный парк «Койгородский». Ее основная цель – охрана ландшафтов моренных равнин южной тайги и крупного массива ненарушенных лесов, имеющий высокую природоохранную ценность [1].

Почти 9/10 территории парка «Койгородский» занимают водосборы притоков р. Кобра – реки Мытец (больше половины общей площади), Суран (чуть менее трети) и Федоровка (5%). На долю бассейна истоков р. Летка приходится 11,1% (рис.). Почти 5% территории парка принадлежит бассейну р. Федоровка. Еще 1,1% относится к бассейну р. Сенюк (бассейн р. Северная Двина).

Традиционно основное внимание исследователей фауны рыб Республики Коми было сосредоточено на наиболее богатых рыбными ресурсами и ценными видами лососеобразных рыб бассейнах рек Печора, а также, пусть и в меньшей степени, Северная Двина и Мезень. При этом ихтиофауна и рыбное население занимающих относительно небольшие площади на карте республики водосборов верхних течений притоков Вятки – Кобры и Летки (бассейн Волги) и р. Луза (бассейн Северной Двины) до настоящего времени и, за редким исключением, не служили объектом специальных детальных исследований.

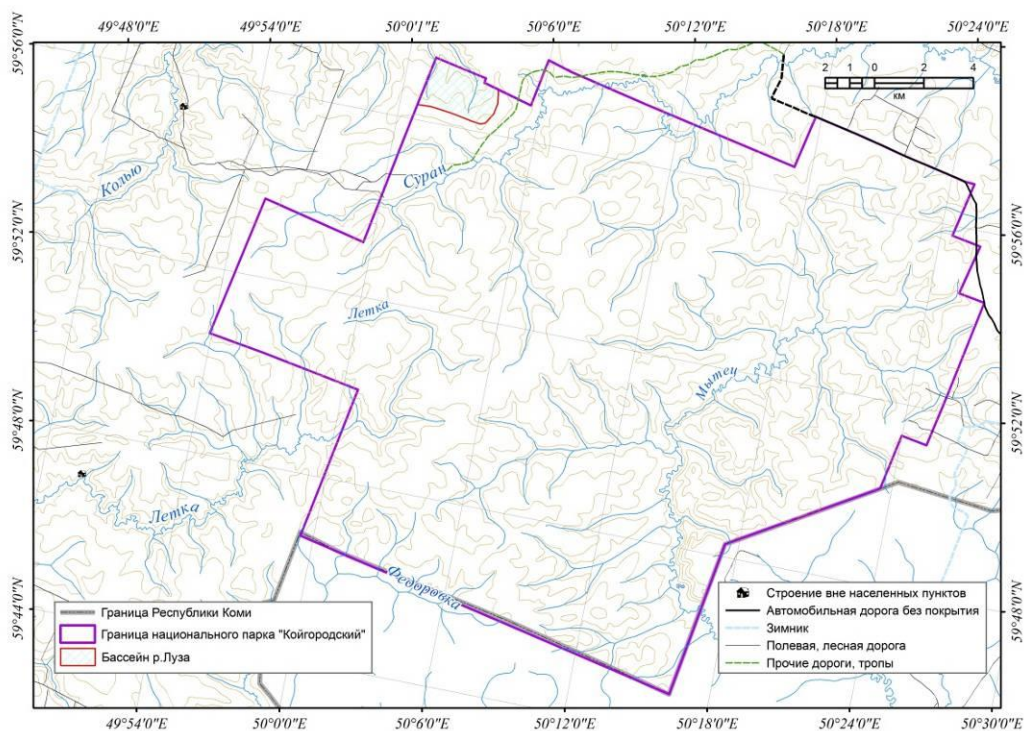


Рис. Карта-схема речной сети национального парка «Койгородский»

В самой первой сводке, посвященной животному миру Коми АССР [2], составлены списки обитающих здесь позвоночных. Перечень видов рыб касался основных речных бассейнов, в том числе волжского и северодвинского. Работа не была снабжена списком использованных литературных источников; судя по всему, в отличие от бассейнов Печоры, Северной Двины и, частично, Мезени, ихтиофауна волжского бассейна была представлена по аналогии с таковой всего бассейна Волги, или по опросным данным.

Отсутствие конкретных данных по участкам водосборов рек Кобра и Летка в пределах Республики Коми нашли свое отражение в фундаментальных работах Н. А. Остроумова [2–6], практически обошедших вниманием ихтиофауну бассейнов рек Кобра и Летка.

В отличие от перечисленных изданий, в монографии Л.Н. Соловкиной [7] «...полностью использованы сведения о реках Летке и Кобре, что позволяет осветить видовой состав рыб южной окраины Коми АССР. Эти сведения опубликовали Б. С. Лукаш, побывавший на Кобре в 1922 г., и П. А. Дрягин, обследовавший р. Летку от с. Летки до устья в 1926 г...» (с. 4). На основании этих сведений автором впервые составлен список видов рыб, обитающих в бассейнах рек Кобра и Летка, на территории Коми АССР. В него вошли 23 вида из восьми семейств.

Несколькими годами позже после выхода в свет работы Л. Н. Соловкиной [7], во втором переработанном издании книги Н. А. Остроумова «Животный мир Республики Коми» [8] девять из 23 видов рыб были отмечены для бассейна р. Летка: европейский хариус (только в притоках этого водотока), голавль, голянь речной, жерех, подуст, лещ, голец усатый и подкаменщик. Кроме того, язь упомянут для бассейнов обеих рек волжского бассейна на

территории Республики Коми – Кобра и Летка. При этом «...не полностью включены рыбы рек бассейна Волги – Летки и Кобры, поскольку данные об ихтиофауне их весьма скудны...» (с. 247).

Вплоть до настоящего времени, в специальной литературе, анализирующей общий состав ихтиофауны Республики Коми [9–11], касательно бассейнов рек Кобра и Летка воспроизводился именно список рыб, составленный Л. Н. Соловкиной [7].

В литературе имеются два ретроспективных источника, основанных на полевых исследованиях и имеющих прямое отношение к участкам бассейнов рек Кобра и Летка, в непосредственной близости к территории национального парка «Койгородский». В работе Б. С. Лукаша [12], основанной на результатах экспедиционных работ, проведенных в июне – июле 1922 г. в окрестностях с. Синегорье, для р. Кобра впервые приводится список из 19 обитающих здесь видов рыб: таймень, европейский хариус, елец, плотва, голавль, язь, голянь речной, жерех, подуст, пескарь, уклейка, лещ, белоглазка, карась золотой, щука, судак, окунь, ерш и налим.

В июне-июле 1926 г. П. А. Дрягиным также впервые выполнены ихтиофаунистические исследования на участке р. Летка от места ее впадения в р. Вятка до с. Летка [13]. Установлен следующий видовой состав рыб бассейна Летки в ее исследованной части (всего 26 видов из восьми семейств): стерлядь, европейский хариус, плотва, елец, голавль, язь, голянь, жерех, линь, подуст, пескарь, уклейка, быстрянка, лещ, белоглазка, карась золотой, сазан, голец усатый, щиповка, вьюн, щука, судак, окунь, ерш, подкаменщик, налим.

Учитывая, что в территорию национального парка «Койгородский» входит небольшой относящийся к бассейну североевропейской р. Северная Двина участок водосбора р. Луза, был проведен поиск литературной и архивной информации об ихтиофауне этого водотока. В результате оказалось, что подобного рода информация отсутствует. Река Луза остается совершенно не изученной в этом отношении, а о составе ее ихтиофауны можно опосредованно судить лишь по общим видовым спискам бассейна Северной Двины [14, 15].

Следует подчеркнуть, что при всей скудности имеющейся информации по ихтиофаунистическому составу, она касается значительно более обширной южной части Республики Коми и прилегающих районов Кировской области, относящихся к бассейнам Кобры, Летки и Лузы, чем непосредственно территории национального парка «Койгородский».

Проведенные в 2020–2021 гг. в рамках сотрудничества национальных парков «Югыд ва» и «Койгородский», с одной стороны, и Института биологии Коми НЦ УрО РАН, с другой стороны, полевые исследовательские работы по изучению фауны и рыбного населения рек Суран, Мытец и Сенюк позволили констатировать обитание здесь по меньшей мере 10 видов из четырех семейств (табл.).

В настоящее время в реках парка зарегистрированы: обыкновенная щука (из одноименного семейства Щуковые); уклейка, пескарь, язь, плотва,

елец, обыкновенный голян (семейство Карповые); усатый голец (Балиториевые); обыкновенный ерш и речной окунь (Окуневые).

Кроме того, в первый год исследований, в нижнем течении р. Суран, в относительной близости от границы национального парка был обнаружен налим, что свидетельствует о большой вероятности наличия его и непосредственно на территории парка.

Все эти виды весеннерестующие, фитофильные. Лишь голян выявлен во всех трех исследованных водотоках (в р. Сенюк это единственный пока установленный вид рыб). Щука и ерш встречены и в р. Суран и в р. Мытец. Уклейка, язь, елец, плотва и окунь по результатам исследований 2021 г. на территории парка отмечены только в Суране, тогда как пескарь и голец усатый – исключительно в р. Мытец.

Таблица

**Список рыб рек национального парка «Койгородский»
(по состоянию изученности на 1.12.2021 г.)**

Семейство	Название	Латинское название	Участки рек		
			Мытец	Суран	Сенюк
Esocidae	Щука	<i>Esox lucius</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	
Cyprinidae	Уклейка	<i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)		+	
	Пескарь	<i>Gobio gobio</i> (Linnaeus, 1758)	+		
	Язь	<i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758)		+	
	Елец	<i>Leuciscus leuciscus</i> (Linnaeus, 1758)		+	
	Голян речной	<i>Phoxinus phoxinus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+
	Плотва	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)		+	
Balitoridae	Голец усатый	<i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus, 1758)	+		
Lotidae	Налим	<i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758)		?	
Percidae	Ерш	<i>Gimnocephalus cernuus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	
	Окунь	<i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)		+	

В составе рыбного населения р. Суран доминирует плотва, обычны щука, уклейка, голян и ерш. Реже встречаются язь, елец и окунь. Иная картина наблюдается в р. Мытец: доминант здесь пескарь, среди обычных видов – щука, голян и ерш.

В 2020 г. в результате впервые предпринятого исследования рыбного населения участков рек Суран и Кобра, непосредственно примыкающих к территории национального парка «Койгородский», было выявлено лишь семь видов рыб: щука, уклейка, язь, плотва, налим, ерш и окунь. Этот факт лег в основу предположения об обитании в водоемах парка, относящихся к бассейнам Волги и Северной Двины, значительно большего количества видов рыб. В настоящее время пока не получено сведений о наличии в составе ихтиофауны национального парка «Койгородский» указанных для бассейнов Летки и Кобры (Соловкина, 1975) ряда видов, среди которых европейский хариус,

лещ, быстрянка, жерех, серебряный и золотой караси, линь, подуст, голавль, щиповка обыкновенная, судак и подкаменщик.

На данном этапе преждевременно делать выводы, с чем связан столь ограниченный состав ихтиофауны рек парка, существенно отличающийся от выявленного на сопредельных участках рек Кобра и Летка около ста лет назад: рекогносцировочным характером исследовательских работ, распространенным здесь браконьерством или естественным сокращением разнообразия местообитаний рыб в верховьях рек, локализованных непосредственно на территории национального парка. Вполне вероятно, что заметно большее видовое разнообразие рыб будет обнаружено при проведении изысканий в разные сезоны года, в том числе в р. Летка.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Разнообразие фауны и пространственно-экологическая структура животного населения европейского северо-востока России и сопредельных территорий в условиях изменения окружающей среды и хозяйственного освоения», регистрационный номер в системе ЕГИСУ 1021051101423-9-1.6.12;1.6.13;1.6.14.

Библиографический список

1. Дёгтева С. В., Пономарев В. И., Кудрявцева Д. И. Исторический очерк формирования сети особо охраняемых природных территорий в Республике Коми // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2020. № 1 (212). С. 13–19. doi: 10.31140/j.vestnikib.2020.3-4(214).3
2. Остроумов Н. А. Животный мир Коми АССР. Позвоночные. Производительные силы Коми АССР: научно-популярная серия. Сыктывкар : Коми государственное изд-во, 1949. 240 с.
3. Зверева О. С., Остроумов Н. А. Животный мир водоемов // Производительные силы Коми АССР. Т. 3, ч. 2. Животный мир. М. : Изд-во АН СССР, 1953. С. 107–141.
4. Зверева О. С., Кучина Е. С., Соловкина Л. Н. Рыбные богатства Коми АССР и пути их освоения. Сыктывкар : Коми книжное изд-во, 1955. 106 с.
5. Атлас Коми АССР. М. : Главное управление геодезии и картографии государственного геологического комитета СССР, 1964. 112 с.
6. Зверева О. С. Особенности биологии главных рек Коми АССР в связи с историей их формирования. Л. : Изд-во «Наука», 1969. 279 с.
7. Соловкина Л. Н. Рыбные ресурсы Республики Коми. Сыктывкар : Коми книжное изд-во, 1975. 168 с.
8. Остроумов Н. А. Животный мир Коми АССР. Позвоночные. 2-а переработанное издание. Сыктывкар : Коми книжное изд-во, 1972. 240 с.
9. Захаров А. Б., Сидоров Г. П. Рыбы // Состояние изученности природных ресурсов Республики Коми. Сыктывкар : Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, 1997. С. 65–72.
10. Атлас Республики Коми. М. : Феория, 2011. 448 с.
11. Биологическое разнообразие Республики Коми / под ред. В. И. Пономарева, А. Г. Татарина. Сыктывкар, 2012. 264 с.
12. Лукаш Б. С. Рыбы бассейна реки Вятки выше гор. Слободского. Вятка : 1-я типолитография, 1925. 50 с.
13. Дрягин П. А. Река Летка, ее ихтиофауна и рыбный промысел // Вятско-Ветлужский край. 1927. № 5–6. С. 132–141.

14. Новоселов А. П. Современное состояние рыбной части сообществ в водоемах европейского северо-востока России : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М. : ИПЭЭ РАН, 2000. 50 с.

15. Сидоров Г. П., Решетников Ю. С. Лососеобразные рыбы водоемов европейского Северо-Востока. М. : Тов-во научных изданий КМК, 2014. 346 с.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КОКЦИНЕЛЛИДОФАУНЫ (INSECTA: COCCINELLIDAE) КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

***В. Б. Пышкин*^{1,2}, *В. Г. Кобечинская*¹, *И. Л. Прыгунова*²**
¹ *Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского,*
vrbiscrim@mail.ru

² *Филиал Московского государственного университета в г. Севастополе*

Созданная в рамках программы CrimInsecta база данных «Coccinellidae» по таксономии, экологии и хорологии кокциnellид Крыма позволила выделить комплексы насекомых степных и горнолесных экосистем полуострова, изучить их таксономическую структуру, видового богатство и разнообразие.

Ключевые слова: Крым, экосистема, насекомые, кокциnellиды, видовое богатство, биологическое разнообразие.

Крымский полуостров – расположен на стыке умеренных и субтропических широт, имеет широкий спектр ландшафтных зон: от полупустынь в степной части, до широколиственных лесов, в его горной части. Сложное геологическое строение и развитие полуострова, рельефа, климата, почвенного и растительного покрова – послужило основой для образования здесь большой мозаичности биотопов насекомых. Здесь, в фокусе Причерноморья, сходятся границы ареалов многих Средиземноморских, Европейских, Европейско-Сибирских и Среднеазиатских видов. Благодаря большому разнообразию и мозаичности биотопов на сравнительно небольшом по территории полуострове, многие виды находят возможность крайнего своего существования. Среди них выделяются представители небольшого, но разнообразного семейства Coccinellidae Latr., 1807, которые широко распространены в степных и лугово-лесных экосистемах Крыма.

Работа проводилась в рамках программы CrimInsecta. Ее основой является информационная система, предназначенная для сбора, хранения и объединения авторских разработок по видовому составу, экологии, хорологии и биоразнообразию насекомых Крыма [1]. Для создания базы данных программы, помимо наших сборов материала по традиционным в энтомологии методам, использовались материалы фондовой коллекции насекомых КФУ, многих частных коллекций, не многочисленных литературных источников [2–5].

Созданная база данных «Coccinellidae» включает сведения о 55 видах кокциnellид Крыма, которые объединены 30 родами, 8 трибами и 6 подсе-

мействами. Наибольшим видовым богатством обладают два подсемейства Scymninae Muls., 1846 и Coccinellinae Latreille, 1807 представленные 45 видами, которые составляют почти 82% видового разнообразия кокциnellид полуострова (табл. 1).

Ядром биоразнообразия кокциnellидофауны полуострова являются подсемейство Coccinellinae Latr., 1807, представленное 19 родами которые объединяют 24 вида, сумма таксонов – 54. Самый многочисленный род подсемейства – *Coccinella* L., 1758 объединяет три вида: *C. (N.) undecimpunctata* L., 1758, *C. (C.) magnifica* Redt., 1843 и *C. (C.) septempunctata* L., 1758. Роды *Coccinula* Dobzhansky, 1925, *Calvia* Muls., 1846 и *Adalia* Muls., 1850 объединяют по два вида: *C. sinuatomarginata* Fabr., 1837, *C. quatuordecimpustulata* (L., 1758), *C. (C.) septempunctata* L., 1758, *C. (C.) magnifica* Redt., 1843, *A. bipunctata* (L., 1758) и *A. decempunctata* (L., 1758). Остальные роды подсемейства: *Bulaea* Muls., 1850, *Tytthaspis* Crotch, 1874, *Anisosticta* Dejean, 1835, *Sospita* Muls., 1846, *Myrrha* Muls., 1846, *Propylea* Muls., 1846, *Vibidia* Muls., 1846, *Halyzia* Muls., 1846, *Psyllobora* Dejean, 1835 и др., представлены одним видом *B. lichatschovi* (Humm., 1827), *T. sedecimpunctata* (L., 1761), *A. novemdecimpunctata* (L., 1758), *S. vigintiguttata* (L., 1758), *M. octodecimguttata* (L., 1758), *P. quatuordecimpunctata* (L., 1758), *C. decemguttata* (L., 1767), *C. (A) quatuordecimguttata* (L., 1758), *V. duodecimguttata* (Poda, 1761), *H. sedecimguttata* (L., 1758), *P. vigintiduopunctata* (L., 1758) и др.

Таблица 1

Таксономическая организация семейства Coccinellidae Latr., 1807 на Крымском полуострове

№	Subfamilia	Tribus	Genus	Subgenus	Species
1	Scymninae Muls., 1846	Stethorini Dobzhansky, 1924	<i>Stethorus</i> Weise, 1885	<i>Stethorus</i> Weise, 1885	1
		Scymnini Muls., 1846	3	5	19
		Hyperaspini Vuls., 1846	<i>Hyperaspis</i> Dejean., 1836	<i>Hyperaspis</i> Dejean., 1836	2
2	Chilocorinae Muls., 1846	Platynaspini Muls., 1846	<i>Platynaspis</i> Redten., 1843	<i>Platynaspis</i> Redten., 1843	1
		Chilocjrini Muls., 1846	3	–	5
3	Lithophilinae Imhoff, 1856	Lithophilini Imhoff, 1856	<i>Tetrabrachys</i> Kapur, 1948	–	1
4	Coccidulinae Muls., 1846	Coccidulini Muls., 1846	<i>Coccidula</i> Kug., 1791	–	2
5	Coccinellinae Latreille, 1807	Coccinellini Latr., 1807	19	10	24
6	Epilachninae Muls., 1846	Epilachnini Muls., 1846	<i>Subcoccinella</i> Guerin., 1842	–	1
Σ	6	8	30	21	55

Содоминантом по таксономическому богатству семейства кокциnellид на полуострове является подсемейство Scymninae Muls., 1846 – сумма таксонов 36 (4 рода и 22 вида). Подсемейство представлено тремя трибами: Scymnini Muls., 1846 с одним родом и видом Scymnini Muls., 1846; триба *Hyperaspini* Vuls., 1846 с одним родом и двумя видами *H. (H.) reppensis* Herbst., 1783 и *H. (H.) campestris* (Herbst., 1783); триба *Scymnini* Muls., 1846 с тремя родами и 19 видами: *N. quadrimaculatus* Herbst, *N. (N.) redtenbacheri* (Muls., 1846), *N. (B.) bipunctatus* (Kug., 1794), *N. (S.) biflammulatus* (Motsch., 1837), *S. rubromaculatus* (Goeze, 1777), *S. interruptus* (Goeze, 1777), *S. apetzi* Muls., 1846, *S. frontalis* (Fabr., 1787) и др. Остальные подсемейства представлены одним родом с одним или двумя видами.

На территории полуострова выделяют Крымскую степную провинцию и Крымскую горную провинцию. Наиболее высоким видовым богатством обладают экосистемы Горной провинции полуострова в основном за счет биоценозов, которые формируются в гигрофитных и мезо-гигрофитных биотопах экосистем Главной горно-лугово-лесной гряды. Для этих экосистем также характерен и высокий показатель таксономического богатства, который представляет сумму таксонов комплекса кокциnellид в их зооценозах (табл. 2).

В этих экосистемах встречаются *Adalia decempunctata* (L., 1758), *Anatis ocellata* (L., 1758), *Subcoccinella vigintiquatuorpunctata* (L., 1758), *Halyzia sedecimguttata* (L., 1758), *Tytthaspis sedecimpunctata* (L., 1761) и др.

Таблица 2

**Видовое и таксономическое богатство кокциnellидофауны
в экосистемах физико-географических провинций и областей Крыма**

Физико-географическое районирование Крыма	Число видов	Таксонов по рангам:				Сумма таксонов
		П/род	родов	триб	п/сем	
Крымская степная провинция	30	11	20	7	4	72
Тарханкутская возвышенная равнина	16	7	14	4	3	44
Северо-Крымская низменность	20	8	16	5	3	52
Керченская холмисто-грядовая степь	9	6	9	5	4	33
Центрально-Крымская равнинная степь	15	8	13	5	3	44
Предгорная лесостепь	33	10	22	8	6	79
Крымская горная провинция	43	17	28	8	5	102
Главная горно-лугово-лесная гряда	39	16	26	8	4	93
Яйлинское лес-лугово-степное нагорье	17	8	13	3	2	43
Южнобережное субсредиземноморье	23	10	17	6	5	61
Крымский полуостров	55	17	30	9	6	117

Увеличение доли ксерофитных и мезо-ксерофитных биотопов в южнобережных экосистемах субсредиземноморья и лесо-лугово-степных экоси-

стемах яйлинского нагорья приводит к снижению видового и таксономического богатства комплексов кокциnellид в их биоценозах (табл.2). В южнобережных экосистемах встречаются *Harmonia quadripunctata* (Pontoppidan, 1763), *Vibidia duodecimguttata* (Poda, 1761), *Chilocorus bipustulatus* (L., 1758) и др., а в яйлинских – *Hippodamia tredecimpunctata* (L., 1758), *Semiadalia undecimnotata* (Schneid., 1792), *Pullus auritus* Thunb., 1795.

В лесостепных экосистемах Предгорья, которые образуют экотон между горнолесными и степными экосистемами, не происходит увеличения видового и таксономического богатства кокциноллид (табл. 2). По этим показателям они занимают промежуточное положение. В их биотопах формируется комплекс кокциnellид из видов, которые встречаются как в степных, так и горнолесных экосистемах: *Scymnus frontalis* (Farb., 1787), *Platynaspis (P) luteorubra* (Goeze, 1777), *Exochomus quadripustulatus* (Linnaeus, 1758), *Coccinula sinuatomarginata* Fabr., 1837 и др.

Наиболее низкими показателями видового и таксономического богатства обладают фаунистические комплексы Керченского полуострова (табл. 2). В его очень засушливом, умеренно жарком климате формируются степные трасэлювиальные ксерогипотрофные петрофитные ковыльно-типчачковые и элювиально-аккумулятивные ксероолиготрофные бедноразнотравно-злаковые экосистемы. Для их биотопов характерны редкие и очень редкие виды *Nephus (N) redtenbacheri* (Muls., 1846), *Parexochomus melanocephalus* (Zoubkoff, 1833), *Coccidula rufa* (Herbst, 1783), *Scymnus (P) impexus* (Muls., 1850).

Так же, сильно обеднены фаунистические комплексы степных экосистем Тарханкутской возвышенной равнины и Центрально-Крымской равнины (табл.2), для которых характерны широко распространенные в Крыму виды: *Scymnus frontalis* (Farb., 1787), *Parexochomus flavipes* Thunberg., 1781, *Chilocorus bipustulatus* (L., 1758), *Bulaea lichatschovi* (Humm., 1827) и др.

Относительно высокими показателями богатства характеризуются комплексы биоценозов экосистем Северо-Крымской низменности, которые формируются в основном за счет широко распространенных видов: *Oenopia conglobata* (L., 1758), *Neococcinella (C) septempunctata* L., 1758, *Adonia (A) variegata* (Goeze, 1777), *Psyllobora vigintiduopunctata* (L., 1758).

Таким образом, в создаваемую базу данных «*Coccinellidae*» программы *CrimInsecta* включены 55 видов, которые объединены 30 родами, 8 трибами и 6 подсемействами. Наибольшим видовым богатством обладают два подсемейства: *Scymninae* Muls., 1846 и *Coccinellinae* Latreille, 1807 представленные 45 видами, которые составляют почти 82% видового разнообразия кокциnellид полуострова.

Библиографический список

1. Мизер А. В. Материалы к фауне кокциnellид Крыма // Вестник зоологии. 1969. № 3. С. 53–60.
2. Пышкин В. Б., Рыбка Т. С. Создание региональных баз данных насекомых: проект *CrimInsecta* // Динамика научных исследований. Днепрпетровск, наука и образование, 2004. С. 26–27.

3. Пышкин В. Б., Тарасов Ю. Э. Эколого-фаунистический обзор кокциnellид (Coleoptera, Coccinellidae) Крыма // Эcosystemы Крыма их оптимизация и охрана. Вып. 13. Симферополь : ТНУ, 2003. С. 103–108.

4. Пышкин В. Б. К биоразнообразию кокциnellидофауны (Insecta, Coccinellidae) // Заповедники Крыма: заповедное дело, биоразнообразие, экообразование. Ч. 2. Симферополь, 2005. С. 60–66.

5. Пышкин В. Б., Прыгунова И. Л., Громенко В. М. Видовое и таксономическое богатство фауны кокциnellид (Insecta: Coccinellidae) в экосистемах Крымского полуострова // Биоразнообразие и устойчивое развитие. Симферополь, 2014. С. 294–296.

6. Пышкин В. Б., Пузанов Д. В. Трофическая структура кокциnellид (Coleoptera: Coccinellidae) в степных и горнолесных парцеллах биогеоценозов Крымского полуострова // Наука и практика в современном мире. Чистополье, 2015. С. 11–12.

СОЧЕТАННОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И НИТРАТА НАТРИЯ НА ЭПИТЕЛИЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЫШЕЙ ЛИНИИ СВА

О. В. Раскоша

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, raskosha@ib.komisc.ru

В статье представлены результаты изучения отдаленных последствий совместного хронического действия низкоинтенсивного γ -облучения (мощность экспозиционной дозы 2000 мкР/ч) и нитрата натрия (концентрации 10 и 45 мг/л) на фолликулярный и экстрафолликулярный эпителиа мышей линии *СВА*.

Ключевые слова: щитовидная железа, γ -облучение, нитрат натрия, хроническое действие, мышцы линии *СВА*.

Живые организмы в природной среде одновременно подвергаются воздействию различных факторов, которые могут модифицировать действие друг друга, поэтому предсказать эффекты таких взаимодействий достаточно сложно. Многокомпонентные воздействия на животных в условиях среды обитания (ионизирующая радиация, оксиды азота и продукты их трансформации, преимущественно нитриты и нитраты) определили необходимость изучения в контролируемых условиях эксперимента совместного действия низкоинтенсивного ионизирующего излучения и нитрата натрия на щитовидную железу мышей. Несмотря на установленную роль этого органа в формировании механизмов адаптации, тем не менее, к настоящему времени недостаточно изучены отдаленные эффекты взаимодействий факторов радиационной и химической природы в тиреоидной ткани. Кроме того, следует подчеркнуть важность изучения пролонгированного действия различных раздражителей на морфологические параметры щитовидной железы, так как даже при полной остановке синтеза тиреоидных гормонов снижение их уровня в крови и развитие клинической недостаточности занимает длительное время – у человека запасов тиреоидных гормонов хватает на 1–3 мес [1].

Цель работы – оценить последствия совместного хронического действия низкоинтенсивного γ -облучения и нитрата натрия на клетки фолликулярного и экстрафолликулярного эпителия щитовидной железы животных.

Для проведения экспериментов использовали половозрелых самцов мышей линии *СВА*, полученных из УНУ «Научная коллекция экспериментальных животных» ФГБНУ ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (<http://www.skrf.ru/usu/471933/>). Мыши путем случайной выборки были разделены на контрольную и две опытные группы. Животных обеих опытных групп подвергали γ -облучению в течение 30 суток при мощности экспозиционной дозы 2000 мкР/ч (источник ^{226}Ra). Одновременно с радиационным воздействием мыши I опытной группы получали перорально водный раствор нитрата натрия в концентрациях 10 мг/л, а животные II опытной группы – в концентрации 45 мг/л. Выбор концентрации базировался на значении ПДК для нитратов в питьевой воде – 45 мг/л [2]. Контролем служили особи такого же возраста и пола, содержащиеся в аналогичных с опытными мышами стандартных условиях вивария [3] при нормальном радиационном фоне (8–10 мкР/ч). Декапитацию животных опытных групп осуществляли через 30 сут. после окончания воздействий одновременно с животными контрольной группы. Органы сразу фиксировали в 10% формалине, гистологические препараты тиреоидной ткани готовили по стандартной методике, срезы окрашивали реактивом Шиффа с докраской ядер гематоксилином. При морфометрии щитовидной железы измеряли высоту фолликулярного эпителия (hФЭ) и диаметры фолликулов (ДФ), по соотношению этих параметров вычисляли индекс функции (ИФ=ДФ/hФЭ), значения которого обратно пропорциональны функциональной активности органа.

Данные проведенного исследования показали, что совместное действие ионизирующего излучения и нитрата натрия приводило к статистически значимому увеличению более чем в 1.5 раза высоты фолликулярного эпителия в обеих опытных группах по сравнению с контрольной группой (рис. А). Фолликулярный эпителий считают достоверным критерием функционального состояния щитовидной железы [4] и его высокие значения свидетельствуют о повышении функциональной активности тиреоидной ткани у мышей опытных групп. Отмечено увеличение доли экстрафолликулярных клеток, которые являются одним из источников восстановления тиреоидной паренхимы путем формирования «дочерних» фолликулов [5]. Направленность пролиферативных процессов во многом обуславливает способность щитовидной железы к развитию компенсаторных процессов и восстановлению ее функциональной активности. В то же время, активная пролиферация тироцитов может приводить к тканевой перестройке с формированием узловых образований и разбалансировкой гормонопоза [4, 6]. Значения ИФ подтверждали напряжение функции щитовидной железы у животных после совместного действия факторов (рис. Б). Следует отметить, что при концентрации нитрата натрия в питьевой воде 45 мг/л на гистологических срезах щитовидной железы встречали крупные фолликулярные аденомеры с плотным темноокрашенным коллоидом

и плоским фолликулярным эпителием. Кроме того, в ЩЖ мышей обеих опытных групп наблюдали дистрофические изменения в клетках, застой крови в сосудах, полиморфизм в размерах и форме ядер и тироцитов.

Таким образом, полученные результаты показали, что после совместного действия малых доз ионизирующего излучения и нитрата натрия происходило гиперплазия и гипертрофия фолликулярного эпителия щитовидной железы, а также увеличение доли экстрафолликулярных клеток, что указывало в целом на напряжение морфофункционального состояния щитовидной железы животных. Исследуемые параметры могут быть использованы при оценке действия радиационно-химического загрязнения в природной среде на организм мелких млекопитающих.

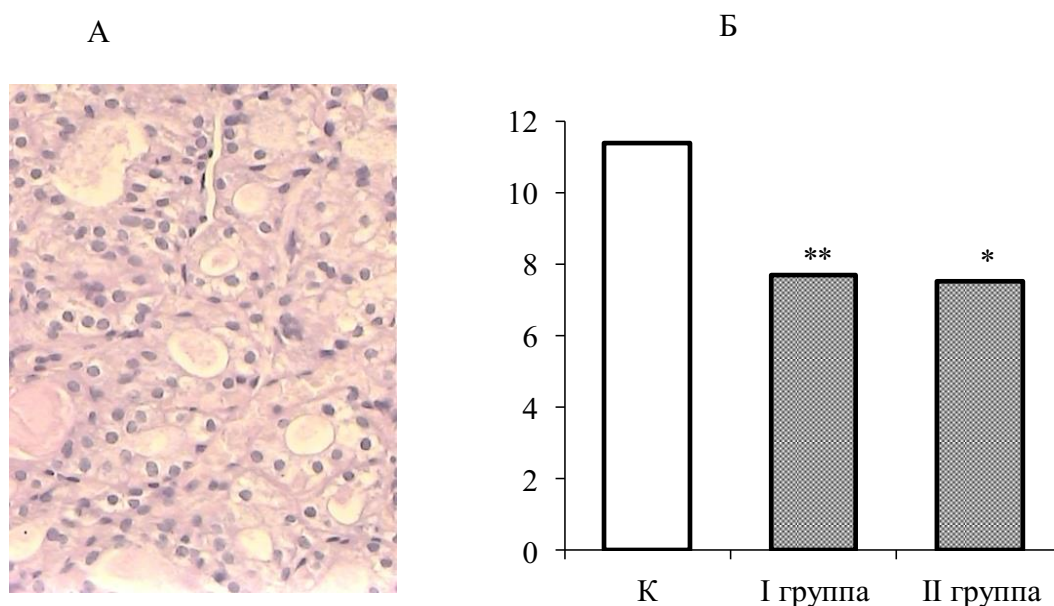


Рис. А – Гистологический срез щитовидной железы мыши I опытной группы; гипертрофия и гиперплазия фолликулярного эпителия (ув. 250).

Б – Индекс функции щитовидной железы
(по оси ординат; условные единицы)
мышей после сочетанного действия факторов

Исследования выполнены в рамках ГЗ по теме «Действие ионизирующего излучения и факторов не радиационной природы на биологические объекты и биогенная миграция тяжелых естественных радионуклидов» ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 1021051101422-0-1.6.23).

Библиографический список

1. The effects of taking chronic nitrate by drinking water on thyroid functions and morphology / S. Eskiocak, r C. Dunda, T. Basoglu, S. Altaner // Clinical and Experimental Medicine. 2005. Vol. 5. P. 66–71. doi: 10.1007/s10238-005-0068-1
2. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.1074-01.
3. Раскоша О. В., Кичигин А. И. Основные принципы надлежащей лабораторной практики (НЛП, GLP) при обустройстве вивария и организации научных исследований //

Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2016. № 3. С. 19–25.

4. Хмельницкий О. К. Цитологическая и гистологическая диагностика заболеваний щитовидной железы: Руководство. СПб. : Сотис, 2002. 286 с.

5. Regeneration of thyroid follicles from primordial cells in a murine thyroidectomized model / J. Lee, S. Yi, J. Y. Chang, Y. E. Kang, H. J. Kim, K. C. Park, K. J. Yang, H. J. Sul, J. O. Kim, H. S. Yi, X. Zhu, S. Y. Cheng, M. Shong // Laboratory investigation. 2017. Vol. 97, № 4. P. 478–489. doi: 10.1038/labinvest.2016.158

6. Калашникова С. А., Полякова Л. В. Особенности развития приспособительных и компенсаторных процессов в щитовидной железе на фоне экспериментального гепатофиброза // Журнал анатомии и гистопатологии. 2018. Т. 7, № 1. P. 40–46. doi: 10.18499/2225-7357-2018-7-1-40-46

ЗООПЛАНКТОН РЕКИ ИВАНЬЧИХИ НА ТЕРРИТОРИИ КОЛОГРИВСКОГО ЗАПОВЕДНИКА (КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А. Л. Сиротин¹, М. В. Сиротина^{1,2}

¹ *Костромской государственный университет,
lasirotin@gmail.com, mvsirotina@gmail.com*

² *ФГБУ «Государственный природный заповедник
«Кологривский лес» имени М. Г. Синецкого»*

В таксономической структуре зоопланктона р. Иваньчихи отмечено преобладание коловраток (51, 23%). Зоопланктон на 47,5% представлен фитофильным комплексом, 32,5% составили фитофильно-планктонные виды, 20% – облигатно планктонные виды. Среди представителей трофических групп зоопланктона преобладают плавающие и ползающие вертикаторы.

Ключевые слова: зоопланктон, малые реки, заповедник «Кологривский лес», Костромская область

Исследование зоопланктона является важным при оценке структуры и функционирования гидроценозов малых рек в том числе и на особо охраняемых территориях. Государственный природный заповедник «Кологривский лес» состоит из двух кластеров – Кологривского и Мантуровского. Мантуровский участок имеет меньшую площадь и меньшую обводненность по сравнению с Кологривским. Основные реки, протекающие через территорию Мантуровского участка – Кастово и Иваньчиха, являющиеся притоками р. Унжи первого и второго порядка соответственно. Река Иваньчиха начинается в Ветлужском районе Нижегородской области, ее протяженность составляет около 25 км, водосборный бассейн имеет размер 113 км². Иваньчиха является правым притоком р. Кастово, в которую впадает в 20 км от ее устья.

Исследования проводились в июне 2018 и сентябре 2021 гг., пробы зоопланктона отбирались малой количественной сетью Джели (размер ячеек 70 мкм). Отобрано 36 проб, в зонах медиали и рипали р. Иваньчихи (рис. 1), пробы фиксировались 4% формалином. При отборе проб учитывалось нали-

чие или отсутствие высшей водной растительности (макрофитов), участков реки, перегороженных бобровыми плотинами – бобровых прудов. Обработка проб проводилась по общепринятым методикам под бинокулярным микроскопом [1], определение видов – с помощью тринокулярного микроскопа Микромед 2 вар. 3–20 с цифровой камерой TourCam 3/1 МР.

Целью работы было изучение сообщества зоопланктона малой реки с учетом локализации его в медиали и разных литоральных биотопах.



Рис. 1. Расположение станций отбора проб зоопланктона по руслу реки Иваньчихи

В результате исследований был выявлен 41 вид зоопланктеров, из них 13 видов Cladocera, 6 видов Copepoda, 22 вида Rotifera. В таксономической структуре зоопланктона преобладают коловратки – 51,23%, ветвистоусые ракообразные составляют 34,14%, веслоногие – 14,63% (рис. 2). Среди зоопланктеров доминируют индикаторы олиго- и олиго-β-сапробных условий. Среди представителей трофических групп зоопланктона преобладают плавающие и ползающие вертикаторы (27,02%), плавающие и ползающие вторичные фильтраторы, соскребатели и детритофаги (18,92%), свободно плавающие вертикаторы (16,21%). Около 10,81% составляют плавающие активные хищники эврифаги, по 5,40% составляют группы ползающих, плавающих собирателей эврифагов и плавающих активных хищников, по 2,71% – группы тонких фильтраторов, плавающих грубых фильтраторов и плавающих и прикрепляющихся к субстрату, поверхностной пленке воды первичных тонких и грубых фильтраторов. Зоопланктон р. Иваньчихи в период исследований на 47,5% был представлен фитофильным комплексом, 32,5% составили фитофильно-планктонные виды, 20% – облигатно планктонные виды.

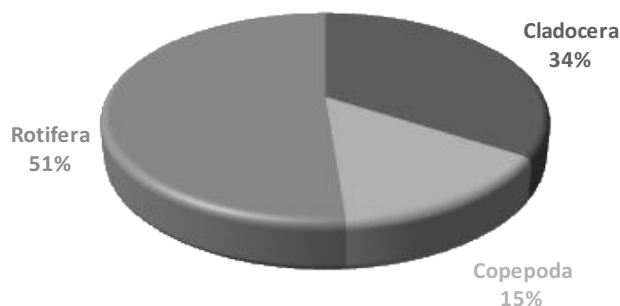


Рис. 2. Таксономическая структура зоопланктона р. Иваньчихи

Анализ видового состава зоопланктоценозов с помощью индекса Палля-Ковнацки [2] показал, что на всех станциях отбора проб в сентябре 2021 г. к числу доминант относятся ювенильные стадии веслоногих. Одновременно наблюдается некоторое различие в составе доминант между различными биотопами. Так, на участках литорали, свободных от макрофитов, к числу доминирующих видов относятся *Polyarthra vulgaris* Carlin, 1943 и *Trichocerca longiseta* (Gosse, 1851). На участках реки, перегороженных бобровыми плотинами – в бобровых прудах к числу доминант относится *Ceriodaphnia megops* G. O. Sars, 1861, *Chydorus sphaericus* (O.F.Müller, 1776), *Polyarthra vulgaris*.

Летом 2018 г. пробы отбирались большей частью в участках медиали, проточных и свободных от макрофитов. Отмечены низкие показатели численности и биомассы зоопланктона: 320,0–624,0 экз/м³ и 3,92–60,61 мг/м³ соответственно, в структуре количественных показателей преобладали представители Соперода. В сентябре 2021 г. пробы отбирались с учетом наличия или отсутствия макрофитов и в бобровых прудах в русле реки (табл.).

Таблица

**Количественные показатели зоопланктона в разных биотопах
р. Иваньчихи в сентябре 2021 г.**

Характер биотопа/Показатель	Без макрофитов	Макрофиты	Бобровые пруды
N Cladocera экз/м ³	4192,72±1742,94	2800,0±326,59	7160,0±2844,38
B Cladocera мг/м ³	231,99±104,44	191,01±83,39	353,08±125,43
N Соперода экз/м ³	4020,0±838,59	6200,0±1051,98	7280,0±1312,91
B Соперода мг/м ³	52,61±22,22	94,92±24,57	79,06±28,77
N Rotifera экз/м ³	2943,64±643,95	1400,0±476,09	3560,0±716,66
B Rotifera мг/м ³	4,74±0,85	2,47±1,27	3,19±1,10
Общая N экз/м ³	11052,73±2804,56	10635,0±1066,66	18200,0±3811,58
Общая B мг/м ³	296,60±124,32	331,23±93,54	465,66±156,13

Самая высокая численность и биомасса зоопланктеров характерна для бобровых прудов (табл.), при этом, биомасса большей частью образована ветвистоусыми рачками, по численности преимущество имеют веслоногие. Численность и биомасса зоопланктона на участках, поросших макрофитами и без них в общем-то отличаются незначительно. Также биомасса здесь формируется в основном за счет представителей Cladocera, значительную долю в численности занимают Соперода. Однако представители типа Rotifera на участках свободных от макрофитов составляют 26,6%, на участках, поросших высшей водной растительностью – 13,16% от общей численности. Это связано с тем, что на участках свободных от макрофитов в пелагиали присутствуют облигатно-планктонные виды в значительной мере представленные колоратками.

Как правило для малых рек характерными являются повышенные показатели численности и биомассы зоопланктона на участках рипали, покрытых высшей водной растительностью, когда там замедляется течение, увеличива-

ется количество экологических ниш и формируются рефугиумы, в которых успешно развивается зоопланктон [3–5]. Река Иваньчиха на исследуемом участке имеет высокую пойму, слабо выраженную зону литорали и значительное течение. Вследствие этого идет вымывание зоопланктона из зоны макрофитов, что обуславливает практически отсутствие отличий между количественными показателями зоопланктона заросших высшей водной растительностью участков и участков без макрофитов.

Вопросы структуры и функционирования сообществ зоопланктона малых рек, связей зоопланктоценозов с абиотическими и биотическими факторами среды, в том числе и на особо охраняемых природных территориях являются важными и требуют дальнейшего изучения.

Библиографический список

1. Салазкин А. А., Иванова М. Б., Огородникова В. А. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. ГосНИОРХ, Ленинград, 1982. 33 с.
2. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы современной идентификации. ИЭВБ РАН, Тольятти, 2003. 463 с.
3. Крылов А. В., Бобров А. А., Жгарева Н. Н. Зоопланктон зарослей водных и прибрежно-водных растений малых рек // Экологическое состояние малых рек Верхнего Поволжья. М. : Наука, 2003. С. 84–99.
4. Влияние высших водных растений на структуру сообществ зоопланктона малой реки (на примере реки Вьюница г. Нижнего Новгорода) / Д. Е. Гаврилко, И. А. Кудрин, Д. С. Ручкин, Г. В. Шурганова // Актуальные проблемы планктонологии : материалы III междунар. конф. Калининград : АтлантНИРО, 2018. С. 47–50.
5. Сиротин А. Л., Сиротина М. В. Структура зоопланктонных сообществ разных биотопов лотических систем (на примере рек на границе Ярославской и Костромской областей) // Биология водных экосистем в XXI веке: факты, гипотезы, тенденции : тезисы докладов Всерос. науч. конф., посвященной 65-летию Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. Борок, 2021. С. 68.

ЗООГЕННАЯ СУКЦЕССИЯ ФИТОЦЕНОЗОВ НА КОЛОГРИВСКОМ КЛАСТЕРЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КОЛОГРИВСКИЙ ЛЕС» ИМЕНИ М. Г. СИНИЦЫНА»

О. Н. Ситникова^{1,2}, М. В. Сиротина^{1,2}, Л. В. Мурадова^{1,2}

¹ *Костромской государственный университет,*

² *Государственный природный заповедник «Кологривский лес»*

им. М. Г. Сеницына»,

sitnikova.olga1989@yandex.ru, mvsirotina@gmail.com, mlv44@mail.ru

В статье представлены сукцессионные процессы в фитоценозах, вызванные жизнедеятельностью обыкновенного бобра (*Castor fiber* L.). За период мониторинговых исследований с 2010 года по 2021 год на данной территории отмечены три последовательные стадии сукцессии: водная, травяно-болотная, «бобровый луг» с характерными растительными сообществами.

Ключевые слова: обыкновенный бобр (*Castor fiber* L.), сукцессия, фитоценоз, бобровые пруды, государственный природный заповедник «Кологривский лес им. М. Г. Сеницына», зоогенная трансформация.

Природные сообщества в течение времени никогда не находятся в стационарном состоянии, на них постоянно влияют различные факторы биотического, абиотического и антропогенного характера. Постепенные направленные изменения в экосистемах, происходящие в течение длительного времени, определяют ход экологических сукцессий.

Движущей силой сукцессионных преобразований растительных сообществ могут выступать совершенно разные группы животных: птицы, мышевидные грызуны, копытные и другие [1]. Зоогенное влияние на фитоценотический покров долин малых рек оказывает средообразующая деятельность обыкновенного бобра (*Castor fiber* L.) [2, 3]. Трофическая и строительная деятельность данного вида животного принципиально меняет структуру ландшафтов долин малых рек и определяет высокое биологическое разнообразие, а также вызывает циклическое развитие растительных сообществ, обеспечивая их пространственное перераспределение вдоль русла реки. Обыкновенный бобр употребляет в пищу более 300 видов растений, одна семья бобров в количестве 4–5 особей на протяжении длительного периода, постоянно обитая на одной территории, может уничтожить почти все деревья в прибрежной зоне в пределах 30–50 метров от уреза воды [3].

Целью исследования являлось изучение сукцессии фитоценозов, вызванной жизнедеятельностью бобра на кологривском кластере государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына.

Территория государственного природного заповедника «Кологривский лес им. М. Г. Сеницына» пронизана обильной сетью малых рек, относящихся к бассейну реки Унжи. Все реки заповедника относятся к восточно-европейскому типу и характеризуются выраженными изменениями ширины и глубины как сезонно, так и на протяжении коротких промежутков времени при наличии обильных осадков [4].

Мониторинг комплексов лесных сообществ в поймах малых рек кологривского кластера заповедника, населенных обыкновенным бобром, продолжается с 2010 года. Растительность кологривского кластера представлена участками коренных лесов и вторичными сукцессионными лесами. На значительной площади заповедника смыкаются ареалы бореальной и неморальной флоры с характерными видами растений [4].

Castor fiber на территории заповедника посредством строительства запруд на малых реках изменяет почвенно-гидрологический режим занимаемых участков, создавая крупные мозаики растительного покрова. Образованные бобрами пруды могут иметь два типа дальнейшего развития. На участках рек с высокой поймой пруды занимают, как правило, небольшую площадь, в целом находятся в русле реки и существуют только в период между половодьями. Если же русло реки имеет низкую пойму, или бобрами создаются поселе-

ния на ручьях, то, обычно, пруды имеют значительную площадь и при наличии устойчивого бобрового поселения существуют длительный период времени, становятся прудово-болотными биотопами и постепенно заселяются характерными видами растений и животных. Для наиболее полной характеристики процессов, происходящих в фитоценозах, обусловленных деятельностью обыкновенного бобра, было выделено пять стадий сукцессионной смены: водная, травяно-болотная, «бобровый луг», «влажный лес» и лесная [5].

В качестве объекта наблюдений было использовано длительно существующее бобровое поселение (N 58.90585° E 43.88261°) на территории кологривского кластера заповедника. Образовавшийся на данном участке пруд возник после перекрытия бобрами русла ручья у водосточного канала через дорогу в 2009 г.

Исследование и картирование данной территории в 2010–2011 гг. показали образовавшийся обширный пруд площадью около 1 га с преобладанием водных ценозов (рис. 1), что свидетельствует о первой стадии сукцессионного процесса. Здесь обитала сильная семья бобров (до 5–6 особей разного возраста). Плотина относилась к типу overflow (верхнего потока) (по классификации Woo, Waddington [6], состояла из ольхи, березы и осины, имела длину 3 м, ширину 1 м, высоту гребня 2 м. В пределах 50 м от дороги бобры вырыли многочисленные норы и ходы. Глубоководные участки бобрового затона покрыты свободноплавающими растениями (кубышка желтая (*Nuphar lutea*), ряска (*Lemna* sp.), лютик водяной (*Ranunculus aquatilis*) и другие), а мелководные участки около берега представлены типичной гидрофитной растительностью (различные виды камыша (*Scirpus* sp.), рогоза (*Typha* sp.), осоки (*Carex* sp.). По периметру бобрового пруда произрастал осинник березовый с елью в подросте, некоторая часть растительного сообщества была затоплена.

К 2015 г. количество особей бобра обыкновенного сократилось до 2–3, что повлекло за собой уменьшение площади поселения. Плотина 2010 г. постройки была разрушена, а новая плотина прудового типа построена ниже сократившегося в размерах бобрового пруда. Размеры плотины достигли 12 м длины, ширины 1 м, высоты гребня 1,8 м.

В 2016 и 2017 гг. плотина имела промоины, уровень воды упал, и фактически образовались два пруда, при этом оба водоема были использованы животными (рис.1). Длина плотины составляла 8,7 м, ширина 4,6 м, высота гребня 1,5 м. Общая территория затопления около 0,6 га. Осинник березовый в данный период времени сменился на березняк с включением осины. На освобожденных от воды участках появилась ольха серая (*Alnus incana*) и различные виды ив (*Salix* sp.). Из травянистой растительности доминировали виды из семейств осоковые (Cyperaceae), рогозовые (Typhaceae), мятликовые (Poaceae) и злаковые (Gramineae). На образовавшихся вследствие понижения уровня воды островках произрастали мятлик луговой (*Poa pratensis*), вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*).

Описанные преобразования фитоценозов характерны для второй травяно-болотной стадии сукцессионного процесса, обусловленного деятельностью бобра.

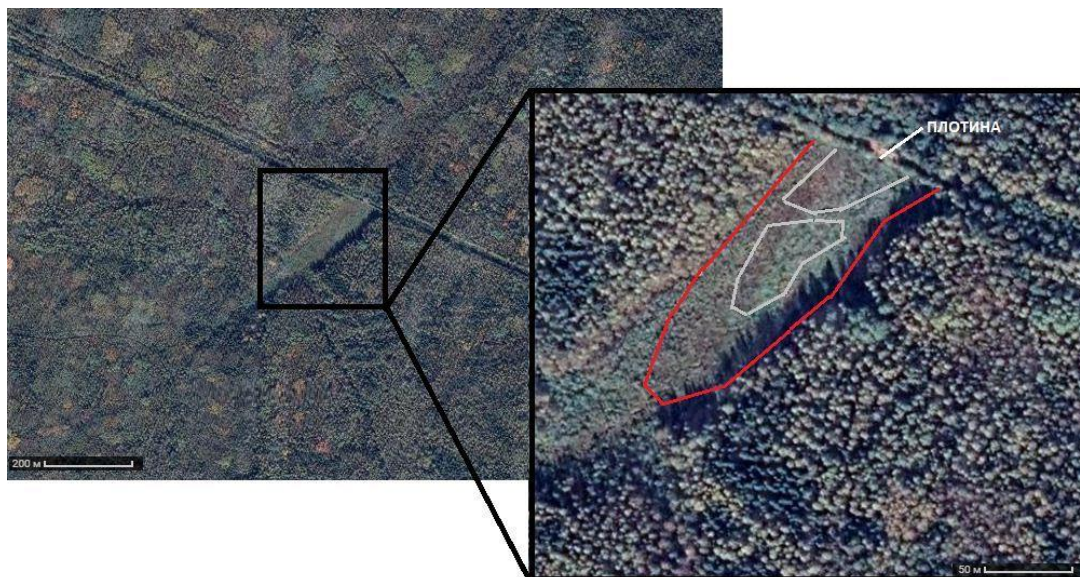


Рис. 1. Снимок со спутника исследуемого бобрового поселения 2021 года с нанесением границ пруда 2010–2011 годов (красная линия) и 2017 года (белая линия)

Из-за обильных весенних паводков в 2018 г. плотина 2015 г. постройки была уничтожена. Бобры покинули изучаемую территорию. За восемь лет (с 2010 по 2018 гг.) вокруг поселения практически полностью была съедена осина, береза зарегистрирована лишь небольшими очагами в количестве 3–5 стволов высотой в среднем 28 м. В прибрежном древостое преобладала ель с включением березы; в кустарничковом ярусе – малина хмелелистная (*Rubus humulifolius*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), княженика (*Rubus arcticus*); травянистая растительность представлена мелкотравием, в состав которого входили кислица (*Oxalis acetosella*), майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), седмичник (*Trientalis europaea*), костяника (*Rubus saxatilis*) и различные виды папоротников (Polypodiophyta) и хвощей (Equisetophyta). По периферии пруда распространился ивняк осоковый, характерный для среднепойменного луга. В центральной части пруда сформировалось кустарничковое болото. Около старой плотины в понижении, сформированном вследствие выкапывания грунта бобрами для строительства и ремонта плотины, образовалась хорошо прогреваемая заводь, в которой обильно произрастали кубышка желтая и различные виды семейства рясовых (Araceae).

По данным исследований 2021 г. на месте заброшенного затона уже сформировался типичный «бобровый луг» с характерной пойменно-луговой растительностью (рис. 2), где были представлены различные виды злаков, лютик ползучий (*Ranunculus repens*), подмаренник (*Galium verum*), таволга вязолистная, кипрей узколистный (*Chamaenyrion angustifolium*).



а

б

Рис. 2. Бобровый пруд в 2013 г. (а) и сформировавшийся «бобровый луг» в 2021 г. (б)

В дальнейшем «бобровый луг» зарастет кустарником (ольха серая, ива), молодой порослью березы и осины, вследствие чего образуется «влажный лес», а затем лес с преобладанием лиственных пород (четвертая и пятая стадии сукцессии соответственно). Таким образом, исследуемый бобровый пруд с 2010 по 2021 гг. претерпел три стадии сукцессии, происходящие в фитоценозах, обусловленные деятельностью обыкновенного бобра. Для кардинальных преобразований территории необходимо, чтобы бобровое поселение было достаточно сильным и устойчивым на протяжении ряда лет. В ряде случаев мы наблюдали также бобровые пруды значительной площади, но если бобры быстро покидали место обитания вследствие истощения кормовой базы или были уничтожены хищниками, то плотина затем разрушалась, пруд спускался, и на территории восстанавливался прежний фитоценоз.

На особо охраняемых природных территориях, при отсутствии антропогенного фактора можно наглядно проследить деятельность обыкновенного бобра как экосистемного инженера, преобразующего ландшафты, значительно влияющего на гидрологический режим, состав фитоценозов и животное население. Мониторинг состояния растительных сообществ на территории заповедника имеет важное значение для прогноза развития экосистем на особо охраняемых природных территориях, для сбережения охраняемых объектов растительного и животного мира.

Библиографический список

1. Евстигнеев О. И., Коротков В. Н. Сукцессии сосновых лесов задровой местности в Неруссо-Деснянском Полесье // Бюллетень Брянского отделения РБО. 2013. С. 31–41.
2. Влияние речного бобра на экосистемы малых рек / Н. А. Завьялов, А. В. Крылов, А. А. Бобров, В. К. Иванов, Ю. Ю. Дгебуадзе. М. : Наука, 2005. 186 с.
3. Завьялов Н. А. Средообразующая деятельность бобра (*Castor fiber* L.) в европейской части России // Труды государственного природного заповедника «Рдейский». Вып. 3. Великий Новгород, 2015. 320 с.
4. Бобры заповедника Кологривский лес / В. А. Зайцев, М. В. Сиротина, Л. В. Мурадова, О. Н. Ситникова // Бобры в заповедниках Европейской части России : труды гос. заповедника «Рдейский». Т. 4. Великие Луки : Великолукская типография, 2018. С. 125–180.

5. Сукцессия, вызванная жизнедеятельностью бобра (*Castor fiber* L.): I. Уроки калибровки простой Марковской модели / А. А. Алейников, О. И. Евстигнеев, Д. О. Логофет, А. О. Морозова // Журнал общей биологии. 2014. Т. 75, № 2. С. 95–103.

6. Woo M. K., Waddington J. M. Effect of beaver dams on subarctic wetland hydrology // Arctic. 1990. Vol. 43. No. 3. P. 223–230.

АНАЛИЗ РАЗЛИЧИЙ АВИАФАУНЫ ПОЙМЕННЫХ И ЛЕСНЫХ МЕСТООБИТАНИЙ НА ПРИМЕРАХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН ТУРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «СОЛНЕЧНАЯ ПОЛЯНА» И СПОРТИВНО-НАУЧНОГО ЦЕНТРА «ПОЛИТЕХНИК»

В. В. Солдатова

ФГАОУ ВО «НИУ ИТМО», soldatova2799@gmail.ru

В статье приводятся наблюдения за орнитофауной пойменных и лесных местообитаний в пределах рекреационных зон туристического комплекса (ТК) «Солнечная поляна» и спортивно-научного центра (СНЦ) «Политехник» на территории Саратовской области. В ходе работы сравнили видовые составы этих двух территорий, установили уровень антропогенного воздействия и важность его контроля в пределах ТК «Солнечная поляна» и СНЦ «Политехник» территорий для сохранения биоразнообразия ключевых орнитологических территорий.

Ключевые слова: авиафауна, биоразнообразие, ключевые орнитологические территории, рекреационные территории, национальный парк «Хвалынский».

Выбранные для изучения рекреационные зоны находятся в районах ключевых орнитологических территорий Саратовской области, выделенных Г. В. Шляхтиным в 2017 году [1].

Хвалынский национальный парк, занимает крупные лесные массивы из дубрав и боров, некоторые из которых располагаются на меловых горах. Достаточно благоприятные естественные условия и сравнительно невысокий антропогенный пресс обеспечивают обитание здесь многих видов птиц, в том числе хищных. Благоприятная кормовая база в виде высокой численности сурка обеспечивает существование могильника. Относительно высокой численности здесь достигают обыкновенный канюк, луговой лунь, обыкновенная пустельга, обыкновенный осоед, орел-карлик, иногда встречается змеяд [2].

Спортивно-научный центр «Политехник» располагается в районе такой ключевой орнитологической территории «Северная зона Волгоградского водохранилища». Создание водохранилища значительно изменило природный облик долины, но на данном участке сохранились естественные пойменные ландшафты, включающие ивняки, осокорники, дубравы, заливные и остепненные луга, песчаные отмели. Здесь гнездятся многие редкие виды птиц: огарь, скопа, европейский тювик, отмечена одна из самых высоких

плотностей орлана-белохвоста в долине р. Волга. Ключевая территория лежит на одном из важнейших миграционных путей хищных птиц. Наиболее массовыми мигрантами являются обыкновенный канюк, коршун и ястреб-перепелятник. Северная зона водохранилища является важной точкой остановки на осенней миграции для водоплавающих птиц. Преобладает кряква и нырковые утки [2].

Такое расположение рекреационных зон определяет необходимость оценки антропогенного влияния на авиафауну данных территорий. При необходимости могут быть разработаны меры по регулированию антропогенного воздействия [3-5].

Наблюдения проводились на выбранных участках 3 раза в сутки (утреннее, обеденное и вечернее время) по следующим маршрутам показанным на рис. 1 (ТК «Солнечная поляна» на территории НП «Хвалынский») и рис. 2 (для СНЦ «Политехник» в пределах Северной зоны Волгоградского водохранилища). Маршруты пролегли таким образом, чтобы захватить как можно более разнообразные биотопы по всей площади исследуемых территорий.



Рис. 1. Маршрут орнитологических наблюдений на территории туристического комплекса «Солнечная поляна»



Рис. 2. Маршрут орнитологических наблюдений на территории спортивно-научного центра «Политехник»

Для сравнения степени антропогенного воздействия на выбранные рекреационные территории были выявлены основные факторы воздействия и определена степень их выраженности. Результаты данной работы представлены в таблице 1.

Рассматривая данные таблицы, можно прийти к выводу, что на территории СНЦ «Политехник» антропогенное воздействие сильнее: громкая музыка, по мнению ученых, нарушает гормональный фон и препятствует нормальному развитию птенцов, нарушает коммуникации птиц. Замусоривание, вытаптывание и разведение костров нарушает целостность среды обитания птиц, а загрязнение водных объектов ведет к деградации водных экосистем, что впоследствии сказывается на среде обитания и кормовой базе орнитофауны.

Таблица 1

**Факторы антропогенного воздействия и их выраженность
на территориях сравниваемых рекреационных зон**

Фактор антропогенного воздействия	Степень выраженности воздействия	
	ТК «Солнечная поляна»	СНЦ «Политехник»
Шум	периодически громкая музыка (по выходным дням)	часто громкая музыка (3 раза в день ежедневно, с 21 до 23 очень громкая музыка на дискотеке)
Замусоривание	слабое	среднее
Вытаптывание	среднее	сильное
Разведение костров	на малооборудованных площадках / в мангалах	на оборудованных площадках / в мангалах
Загрязнение водных объектов	ПАВ	сброс пищевых отходов от столовой, ПАВ от душевых кабин

Так же была произведена дифференциация встреченных видов птиц по родам и семействам для более наглядного сравнения видового разнообразия исследуемых площадок (табл. 2).

Таблица 2

**Сравнение биоразнообразия авиафауны ТК «Солнечная поляна» и
СНЦ «Политехник»**

Отряд	Семейство	Вид	Наличие на исследуемой рекреационной территории	
			ТК «Солнечная поляна»	СНЦ «Политехник»
1	2	3	4	5
Воробьинообразные	Синицевые	Большая синица	+	+
		Буроголовая гаичка	–	+
		Лазоревка	+	–
	Мухоловковые	Обыкновенная мухоловка	+	–
		Обыкновенный соловей	–	+
		Обыкновенная горихвостка	+	+
		Зарянка	–	+
	Поползневые	Обыкновенный поползень	+	+
	Трясогузковые	Белая трясогузка	+	+
	Воробьиные	Полевой воробей	–	+
	Вьюрковые	Зяблик	+	–
		Черноголовый щегол	+	–
	Дроздовые	Певчий дрозд	+	–
		Черный дрозд	+	–
	Пеночковые	Пеночка-теньковка	+	+
	Врановые	Серая Ворона	–	+
	Пищуховые	Обыкновенная пищуха	–	+
	Сверчковые	Сверчок обыкновенный	–	+
	Ласточковые	Береговая ласточка	–	+

1	2	3	4	5
Дятлообразные	Дятловые	Большой пестрый дятел	–	+
		Средний пестрый дятел	+	–
		Серый дятел	+	–
		Желна	–	+
Ржанкообразные	Чайковые	Речная крачка	–	+
		Озерная чайка	–	+
Ястребообразные	Ястребиные	Черный коршун	–	+
		Обыкновенный Канюк	–	+
Аистообразные	Цаплевые	Серая цапля	–	+
	Аистовые	Черный аист	–	+
Ракшеобразные	Зимородковые	Зимородок обыкновенный	–	+
Совообразные	Совиные	Ушастая сова	–	+

В составе авиафауны обоих участков преобладают семейства отряда воробьинообразные, на обоих участках встречались различные виды дятлообразных. Синантропных видов больше на территории СНЦ «Политехник», поскольку там более развита инфраструктура (организованная столовая, большое количество отдыхающих в период с весны до осени). Анализируя данные таблицы, нельзя не заметить, что, несмотря на более высокую антропогенную нагрузку, авиафауна рекреационной зоны СНЦ «Политехник» значительно разнообразнее: отрядов больше в 3,5 раза, семейств – в 2 раза, видов так же в 2 раза. Это объясняется сочетанием пойменных участков рек Малый Караман и Воложка, открытых и лесных участков, близкого расположения болота. Здесь было замечено 2 краснокнижных вида (черный аист – Красная книга РФ, желна – Красная книга Саратовской области). Следовательно, данное сообщество более устойчиво за счет большего видового разнообразия, однако для обеих рекреационных зон необходим мониторинг численности и видового состава авиафауны с целью отслеживания динамики качественных и количественных изменений сообществ, установления уровня допустимого для них антропогенного воздействия.

Библиографический список

1. Шляхтин Г. В. Ключевые орнитологические территории Саратовской области и их значение для сохранения популяций редких и исчезающих видов птиц России // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 5. С. 1052–1056. doi: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1052-1056
2. Официальный сайт Национального парка «Хвалынский» – список видов птиц [Электронный ресурс]. – URL: <http://nphvalynskiy.ru/bioraznoobrazie/fauna>. (дата обращения: 13.07.2019).
3. Бердлайн интернейшнл (всемирная организация по изучению и охране птиц) [Электронный ресурс]. – URL: www.birdlife.org. (дата обращения: 12.07.2019).
4. Вокруг света [Электронный ресурс]. – URL: <https://vokrugsveta.ua/ecology-/shumovoe-zagryaznenie-vyzyvaet-psihicheskie-rasstrojstva-u-ptits-11-01-2018> (дата обращения: 14.07.2019).

5. Антончиков А. Н., Варламов А. Г. Птицы вокруг нас // Определитель птиц для начинающих: птицы европейской части России. Саратовская региональная общественная организация Союз охраны птиц России. Саратов, 2013.

МАТЕРИАЛЫ К СОСТАВУ ОРНИТОФАУНЫ НА ТЕРРИТОРИИ ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ ДЕНДРОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК ЛЕСОВОДОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. А. Сомов, В. М. Рябов
Вятский государственный университет,
somov1650@gmail.com, ryapitschi@yandex.ru

На территории особо охраняемой природной территории «Дендрологический парк лесоводов Кировской области» (далее Дендропарк), в течение зимнего сезона с 20.11.2021 по 06.03.2022. Выявлено пребывание 18 видов птиц. В зимний период 2021–2022 гг. фоновыми зимующими видами большая синица, гаичка, снегирь, сойка, кряква. Колебания численности в течение сезона обусловлены погодными условиями и кормовой базой.

Ключевые слова: орнитофауна, зимующие птицы, видовой состав, динамика численности.

Изучение структуры и динамики населения птиц – одна из актуальных проблем современной экологии. Эти исследования лежат в основе экологического мониторинга и прогнозирования изменений в биоценозах. Особую важность приобретает изучение птиц в связи с изменениями ландшафтов, которые происходят в результате деятельности человека [1].

Учет численности зимующих птиц на территории Дендропарка проводили маршрутным методом, без учета ширины полосы обнаружения [2] два раза в месяц на постоянном маршруте протяженностью 2,4 км. Птиц определяли по голосам и визуально с использованием справочников и определителей [3–5]. Систематическое положение и названия таксонов представлены в соответствии с наиболее употребляемой в Российской Федерации зоологической номенклатурой [5]. Для фотофиксации использовали камеру мобильного телефона Redmi 9C NFC.

За период наблюдений на территории дендропарка выявлено 18 видов зимующих птиц, которые принадлежат к 12 семействам и 5 отрядам. Максимальное число птиц было обнаружено 4 декабря, после наблюдался спад численности. Минимальная численность фиксировалась 20 ноября. С 12 февраля и далее общая численность остается практически на одном уровне (рис.). Скачек общей численности 4 декабря обусловлен обнаружением двух крупных стай чечеток, которые в последующих учетах не обнаружены.

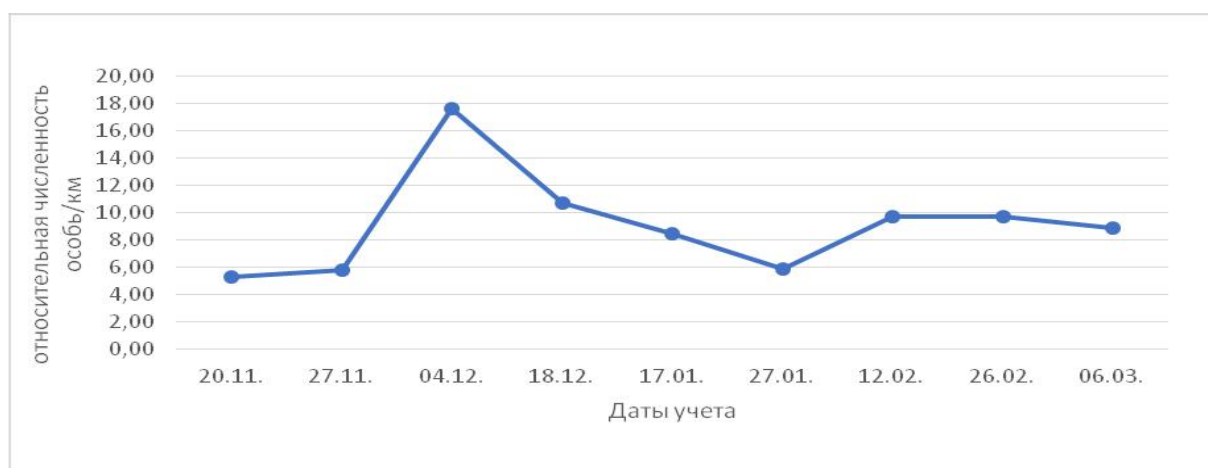


Рис. Динамика общей численности зимующих птиц на территории ООПТ «Дендрологический парк лесоводов Кировской области»

Далее представляем аннотированный список птиц, отмеченных в зимний период на территории Дендропарка

Отряд Гусеобразные – Anseriformes

Семейство Гусиные – Anserinae

1. Кряква – *Anas platyrhynchos*

На территории парка есть незамерзающий водоем, где люди постоянно подкармливают их. Абсолютное количество крякв варьировало от 60 до 134 особей.

Отряд Соколообразные – Falconiformes

Семейство Ястребиные – Accipitridae

2. Тетеревятник – *Accipiter gentilis*

Единичные встречи отмечали 17 января и 6 марта

Отряд Голубеобразные – Columbiformes

Семейство Голубиные – Columbidae

3. Сизый голубь – *Columba livia*

Общая относительная численность, составляет – 0,21 особь/км. Максимальная относительная численность – 1,36 особь/км наблюдалась 4 декабря.

Отряд Дятлообразные – Piciformes

Семейство Дятловые – Picidae

4. Большой пестрый дятел – *Dendrocopos major*

Общая относительная численность составляет – 0,07 особь/км. Максимальную относительную численность – 0,19 особь/км отмечали 6 марта, предполагаем это две оседлых пары, так как встречались они на протяжении всего зимнего сезона.

Отряд Воробьинообразные – Passeriformes

Семейство Вьюрковые – Fringillidae

5. Обыкновенный снегирь – *Pyrrhula pyrrhula*

Общая относительная численность составляет – 0,64 особь/км. Максимальная относительная численность – 1,03 особь/км 17 января. В целом динамика численности снегиря постоянна.

6. Обыкновенная чечетка – *Carduelis flammea*

Общая относительная численность составляет – 1,15 особь/км. Максимальная относительная численность – 6,07 особь/км наблюдалась 4 декабря и после идет резкий спад численности до нуля. Это связано с сезонной миграцией в начале зимы и недостаточностью кормовой базы на территории исследования.

7. Клест-еловик – *Loxia curvirostra*

Единичные встречи клестов отмечали 4 декабря. Вероятно это связано с недостаточным урожаем семян ели в текущий зимний период.

8. Вьюрок – *Fringilla montifringilla*

Единичные встречи вьюрков были зафиксированы в начале зимы.

Семейство Врановые – Corvidae

9. Серая ворона – *Corvus cornix*

Максимальная относительная численность – 0,7 особь/км наблюдалась 20 ноября, далее численность в течении всего сезона примерно на одном уровне, вероятно это связано с недостаточной кормовой базой.

10. Сорока – *Pica pica*

Общая относительная численность составляет – 0,06 особь/км. Максимальную относительную численность составившую – 0,19 особь/км отмечали 27 января.

11. Сойка – *Garrulus glandarius*

Общая относительная численность составляет – 0,19 особь/км. Максимальная относительная численность – 0,37 особь/км наблюдали 27 ноября. В последующее учета наблюдается тенденция спада численности, скорее всего сойки постепенно откочевывали.

Семейство Синицевые – Paridae

12. Большая синица – *Parus major*

Общая относительная численность составляет – 1,76 особь/км. Максимальная относительная численность – 2,8 особь/км отмечена 4 декабря и 26 февраля. В эти дни было довольно тепло и в парке было много людей, в том числе подкармливающих синиц.

13. Буроголовая гаичка – *Poecile montanus*

Общая относительная численность составляет – 0,30 особь/км. Максимальная относительная численность – 0,47 особь/км наблюдали 12 февраля. На протяжении зимнего сезона численность была постоянной.

Семейство Дроздовые – Turdidae

14. Рябинник – *Turdus pilaris*

Общая относительная численность составляет – 0,15 особь/км. Максимальная относительная численность – 0,23 особь/км наблюдали 12 февраля. Из-за большого урожая рябины в этом году часть рябинников осталась на зимовку.

Семейство Поползневые – Sittidae

15. Обыкновенный поползень – *Sitta europea*.

Единичные особи были встречены 4 и 18 декабря.

Семейство Свиристелевые – *Bombycillidae*

16. Обыкновенный свиристель – *Bombycilla garrulous*

Обычный в зимнее время вид в этом году на территории Дендропарка практически не встречался. Единичные особи были отмечены 18 декабря.

Семейство Длиннохвостые синицы – *Aegithalidae*

17. Ополовник – *Aegithalos caudatus*

Общая относительная численность составляет – 0,08 особь/км. Максимальная относительная численность – 0,56 особь/км наблюдали 4 декабря вероятно во время сезонной миграции.

Семейство Овсянковые – *Emberizidae*

18. Пуночка – *Plectrophenax nivalis*

Одну особь наблюдали 20 ноября. Данный биотоп не свойственен для этого вида.

Таким образом, на территории Дендропарка в зимний период 2021–2022 гг. фоновыми зимующими видами были: большая синица, гаичка, снегирь, сойка, краквя. Колебания численности в течение сезона обусловлены погодными условиями и кормовой базой.

По сравнению с исследованиями прошлых лет [1] видовой состав и численность зимующих птиц в 2021–2022 гг. значительно снизилась. Зимой 2014–2015 гг. было отмечено 27 видов зимующих птиц, а в текущем сезоне было обнаружено только 18, однако были выявлены виды, не встречавшиеся ранее – вьюрок и пуночка.

Библиографический список

1. Бакшеев К. О., Рябов В. М. Динамика зимней орнитофауны на территории ООПТ «Дендрологический парк лесоводов Кировской области» // Механизмы устойчивости и адаптации биологических систем к природным и техногенным факторам : материалы Всерос. науч. конф. Киров, 2015. С. 207–209.

2. Равкин Ю. С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах / Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск : Наука, 1967. С. 66–75.

3. Рябицев В. К. Птицы Урала, Приуралья и Западной Сибири. Екатеринбург : Изд-во Уральского университета, 2001. 608 с.

4. «Птицы Поволжья» [Электронный ресурс]. – URL: <http://ecoportal.info/pticy-povolzhya> (дата обращения: 03.03.2022).

5. Коблик Е.А., Редькин Я. А., Архипов В. Ю. Список птиц Российской Федерации. М. :Т-во научных изданий КМК, 2006. 256 с.

6. Сотников В. Н. Птицы Кировской области и сопредельных территорий / (Том II. Воробьинообразные. Ч II). Киров : Триада плюс, 2008. 431 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПЕРМАТОЗОИДОВ У ПОЛЕВОК-ЭКОНОМОК, ОБИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ НОРМАЛЬНОГО И ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА

Н. Н. Старобор, О. В. Раскоша

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, starobor@ib.komisc.ru

Определены значения морфометрических параметров основных структурных компонентов сперматозоидов у полевок-экономок, длительное время обитавших в условиях нормального и повышенного уровня естественной радиоактивности. Обнаруженные морфометрические изменения в основных структурных частях сперматозоидов облученных полевок-экономок направлены на поддержание фертильности самцов, обитающих на территории с повышенным уровнем γ -фона.

Ключевые слова: полевка-экономка, малые дозы, сперматозоиды, морфометрия

Длительное существование популяций животных в антропогенно загрязненных условиях среды обитания зависит от их полноценного воспроизводства. Сперматогенез как один из динамичных процессов в организме животных является высокочувствительным биоиндикатором для изучения воздействия различных повреждающих факторов окружающей среды, в том числе и ионизирующего излучения. Особенности строения сперматозоидов являются их стабильность и видоспецифичность [1], поэтому морфометрические параметры сперматозоидов млекопитающих часто используют в таксономических и филогенетических целях [2–5]. В экологических исследованиях актуальным является изучение влияния неблагоприятных последствий повреждающих факторов, в том числе и ионизирующего излучения, на качество сперматозоидов. Показано, что снижение качества мужских половых клеток приводит к нарушению процессов воспроизводства и плодовитости животных [6].

Цель нашей работы – провести сравнительное морфометрическое исследование сперматозоидов у полевок-экономок, обитавших в условиях нормального и повышенного радиационного фона.

Объект исследования – полевки-экономки (*Alexandromys oeconotus* Pallas), отловленные в пос. Водный Ухтинского района Республики Коми в среднем течение р. Ухта на территории с повышенным (мощность внешнего γ -фона – 0,50 до 20 мкЗв/ч) и нормальным (0,10–0,15 мкЗв/ч) радиационным фоном в фазу пика численности (9 и 7 особей, соответственно). Манипуляции с полевками осуществляли в день отлова с соблюдением требований международных принципов Хельсинской декларации о гуманном отношении к животным для экстирпации органов [7].

Анализ линейных размеров мужских половых клеток проводили по схеме Т. Г. Аксеновой (рис.) с применением программы ImageJ для анализа и

обработки изображений, разработанной сотрудниками National Institutes of Health (USA) [8]. У каждого самца анализировали по 50 сперматозоидов, определяя общую длину половой клетки, длину и ширину головки, измеряли длину, ширину и объем средней части хвоста, а также общую длину хвоста [9–10]. Для более четкого представления об уровне нарушений линейных показателей сперматозоидов В.Л. Сэйлер с соавторами [11] предложили ранжировать половые клетки по размерам изучаемых параметров, поскольку морфологическая структура сперматозоида напрямую зависит от их функции. Сравнение полученных морфометрических показателей проводили с применением χ^2 -критерия Фишера и t -критерия Стьюдента.

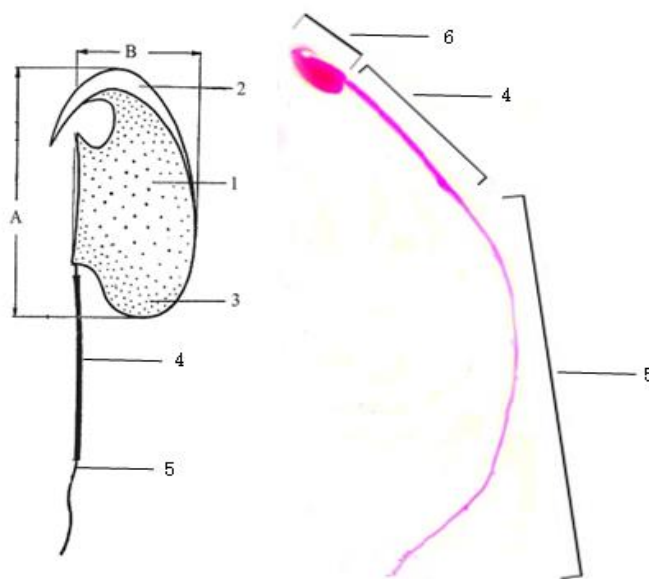


Рис. Схема строения и измерений сперматозоида полевки-экономки. Слева схема по Аксеновой, 1978 (1 – ядро, 2 – акросома, 3 – выступ задней части головки, 4 – средняя часть хвоста, 5 – жгутик, А – длина головки, В – ширина головки). Справа сперматозоид самца полевки-экономки (4 – средняя часть хвоста, 5 – основная часть хвоста – жгутик, 6 – головка; окраска эозином, ув. $\times 100$)

По данным литературы, при оценке качества зрелых мужских половых клеток, как правило, анализируют частоту морфологически измененных форм головок сперматозоидов и дефекты хвостовой части [12–13], при этом морфометрические показатели (линейные параметры) сперматозоидов животных в ответ на воздействие повреждающих факторов практически не исследуют. Одной из причин этого является отсутствием установленных референтных значений для структурных компонентов зрелых половых клеток у некоторых видов животных. Поэтому на первом этапе нашей работы были определены значения морфометрических признаков основных структурных частей сперматозоидов полевок-экономок, отловленных на участке с нормальным радиационным фоном. Полученные результаты показали, что у полевок с контрольного участка общая длина сперматозоида составляла от 79,53 до 89,62 мкм (в среднем $86,69 \pm 0,08$ мкм), при этом длина головки варьировала

от 6,29 до 8,56 мкм, ширина составляла 2,42–3,99 мкм, площадь – 12,49–23,99 мкм². Общая длина хвоста сперматозоида была от 72,52 до 82,2 мкм (в среднем 79,63±0,07 мкм), длина средней части хвоста находилась в пределах 16,6–21,4 мкм (18,54±0,03 мкм), ширина – 0,67–1,29 мкм (0,91±0,03 мкм), объем 39,82–72,03 мкм³ (52,9±0,2 мкм³).

При воздействии повреждающих факторов на организм животных изменения морфометрических параметров одних структурных компонентов сперматозоидов могут проявиться раньше, чем других [14–17]. У самцов полевок, отловленных на радиоактивно загрязненном участке, по сравнению с контрольными животными, при ранжировании линейных размеров изучаемых структурных компонентов половых клеток было выявлено повышение доли сперматозоидов, характеризующихся уменьшением длины головки, более длинным хвостом и увеличенными длиной и объемом средней части хвоста. Подобные изменения морфометрических параметров у сперматозоидов способствуют повышению их фертильности [18–20]. С другой стороны, следует отметить, что у этих же самцов ранее нами было выявлено увеличение доли сперматозоидов с морфологически видоизмененными головками и с отсутствием акросомы, что свидетельствует о снижении фертильности таких половых клеток [21].

Таких образом, в результате проведенного исследования были установлены референтные значения морфометрических параметров сперматозоидов полевок-экономок, обитающих в условиях нормального радиационного фона. Сравнительный морфометрический анализ сперматозоидов у животных, обитающих на контрольном и радиоактивно загрязненном участках, позволил выявить различия в размерах некоторых структурных компонентов половых клеток. Обнаруженные изменения морфометрических параметров сперматозоидов облученных животных направлены на поддержание их функциональной фертильности в условиях повышенной антропогенной нагрузки.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ Коми НЦ УрО РАН № 1021051101422-0-1.6.23 и РФФИ-Коми №20-45-110009 p_a.

Библиографический список

1. Vitullo D., Roldan E. R. S., Merani M. S. On the morphology of spermatozoa of tucotucos, *Ctenomys* (Rodentia: Ctenomyidae): New data and its implications for the evolution of the genus. 1988. doi: 10.1111/j.1469-7998.1988.tb02403.x
2. Аксенова Т. Г. Особенности строения сперматозоидов и их значение в систематике серых полевок (Rodentia, *Microtus*) // Труды Зоологического института АН СССР. 1978. Т. 79. С. 91–101.
3. Дмитриев С. Г. Сравнительный анализ сперматозоидов у шести видов лесных полевок рода *Clethrionomys* (Rodentia) // Зоологический журнал. 1991. Т. 70, № 9. С. 118–124.
4. Баскевич М. И. Диагностика мышей рода *Apodemus* (Rodentia, Muridae) из западной части Большого Кавказа в условиях симбиотопии // Зоологический журнал. 2004. Т. 83, № 10. С. 1261–1269.
5. Zorenko T.A. The spermatozoa structure peculiarities of the subgenus *Sumeriomys* (Rodentia, Arvicolinae, *Microtus*) // Russian Journal of Theriology. 2015. Vol. 14, No. 1. P. 105–111.

6. Resource allocation-based life histories: A conceptual basis for studies of ecological toxicology / J. D. Congdon, A. E. Dunham, W. A. Hopkins, C. L. Rowe, T. G. Hinton // *Environ. Toxicol. Chem.* 2001. Vol. 20. P. 1698–1703.
7. World Health Organization. WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen, 5th ed. Geneva: World Health Organization. 2010. 272 p. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44261/9789241547789_eng.pdf
8. Collins T. J. ImageJ for microscopy // *BioTechniques*. 2007. Vol. 43, No. 1. P. 25–30. doi:10.2144/000112517
9. Sperm design and sperm function / A. F. Malo, M. Gomendio, J. Garde, B. Lang-Lenton, A. J. Soler, E. R. S. Roldan // *Biol. Lett.* 2006. Vol. 2. P. 246–249.
10. Morphometric dimensions of the human sperm head depend on the staining method used / L. Maree, S. S. du Plessis, R. Menkveld, G. Horst // *Human Reproduction*. 2010. Vol. 25, No. 6. P. 1369–1382. doi:10.1093/humrep/deq075
11. Sailer B. L., Jost L. K., Evenson D. P. Bull sperm head morphometry related to abnormal chromatin structure and fertility // *Cytometry*. 1996. Vol. 24. P. 167–173.
12. Мамина В. П., Жигальский О. А. Оценка оплодотворяющей способности сперматозоидов у рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) на разных фазах динамики численности // *Успехи современной биологии*, 2006. Т. 126, № 4. С. 413–420.
13. Miska-Schramm A., Kruczek M., Kapusta J. Effect of copper exposure on reproductive ability in the bank vole (*Myodes glareolus*) // *Ecotoxicology*. 2014. Vol. 23. P. 1546–1554. doi: 10.1007/s10646-014-1295-6
14. Gomendio M., Tourmente M., Roldan E. R. S. Why mammalian lineages respond differently to sexual selection: metabolic rate constrains the evolution of sperm size. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Vol. 278. P. 3135–3141.* doi:10.1098/rspb.2011.0275
15. Tourmente M., Gomendio M., Roldan E. R. S. Sperm competition and the evolution of sperm design in mammals // *BMC Evolutionary Biology*. 2011a. 11:12. doi:10.1186/1471-2148-11-12
16. Impaired swimming behaviour and morphology of sperm from barn swallows *Hirundo rustica* in Chernobyl / A. P. Møller, T. A. Mousseau, C. Lynn, S. Ostermiller, G. Rudolfsen // *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2008. Vol. 650. P. 210–216 <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2007.12.006>
17. Kivisaari K. The Effects of Ionizing radiation on bank vole in Chernobyl Exclusion Zone. 2019. online publication. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-7959-1>
18. Human sperm head morphometric distribution and its influence on human fertility / N. Aziz, S. Fear, C. Taylor, C. R. Kingsland, D. I. Lewis-Jones // *Fertil Steril*. 1998. Vol. 70. No. 5. P. 883–891.
19. Anderson M. J., Dixon A. F. Sperm competition: motility and the midpiece in primates. *Nature*. 2002. No. 4. P. 496. doi:10.1038/416496a.
20. Noorafshan A., Karbaly-Doust S. () A simple method for unbiased estimating of ejaculated sperm tail length in subjects with normal and abnormal sperm motility // *Micron*, 2010. Vol. 41. P. 96–99. doi: 10.1016/j.micron.2009.09.002.
21. Оценка состояния мышевидных грызунов с радиоактивно загрязненных территорий по показателям репродуктивной системы / О. В. Раскоша, Н. Н. Старобор, Л. А. Башлыкова, С. П. Мильникова, Н. С. Сапрыгина // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием.* Киров, 2019. С. 141–145.

РЕСНИЧНЫЕ ЧЕРВИ (PLATHELMINTHES: CATENULIDA, RHABDITOPHORA) ВОЛЖСКО-КАМСКОГО БАССЕЙНА: ИЗУЧЕННОСТЬ И ОЦЕНКА ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ

Р. П. Токинова, С. В. Бердник

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан,
r.token@rambler.ru*

Обобщены сведения по видовому разнообразию свободноживущих плоских червей в гидрографической сети рек Волги и Камы. В ходе анализа данных упорядочена номенклатура и синонимика видов, проведена оценка общего числа видов, выделены формы, широко распространенные и редкие, часть из которых нуждается в дополнительных фактах, подтверждающих их присутствие на исследуемой территории.

Ключевые слова: Волга, Кама, бассейн, видовой состав, турбеллярии.

Свободноживущие плоские черви (Platyhelminthes: Catenulida, Rhabditophora), более известные как турбеллярии, являются обычными представителями бентосных и фитофильных сообществ беспозвоночных животных. Представители этой группы широко распространены в гидрографической сети рек Волги и Камы, которая характеризуется развитием широкой сети больших и малых озер, стариц, водохранилищ (крупных и малых), водноболотных угодий, временно пересыхающих эфемерных водоемов и т.д. Первые сведения о таксономическом разнообразии ресничных червей, встречающихся на территории Волжско-Камского речного бассейна появляются, начиная с последней четверти XIX века. В последующем, благодаря исследованиям целого ряда специалистов (Н. В. Насонов, Д. М. Россинский, В. П. Зыков, И. П. Забусов, В. Н. Беклемишев, З. И. Забусова-Жданова, Н. В. Кордэ, Е. М. Коргина, Р. Я. Дыганова, Н. А. Порфирьева, и др.) из различных регионов речного бассейна (Верхняя Волга, Среднее и Нижнее Поволжье, подбассейны рек Камы, Вятки и Оки) был накоплен достаточно большой объем данных. Это позволило предпринять первые попытки обобщения сведений по турбелляриям фауны Волги и ее бассейна [1–3]. Итоги этих таксономических исследований, однако, не стали вполне исчерпывающими, так как не были учтены данные по р. Каме, образующей с Волгой единую гидрографическую сеть. Помимо того, в связи с неравномерным географическим охватом речного бассейна, немногочисленные работы конца XIX – начала XX веков на Нижней и Средней Волге, слабо отражали реальное разнообразие этих гидробионтов в фауне Поволжья. Исследования, проведенные авторами статьи на территории республик Татарстан и Марий Эл в 2009–2021 гг., позволили получить новые материалы, объем которых составил более 190 проб с более чем 3200 экз. ресничных червей. Было установлено 84 вида, из которых 16 ранее

не указывались для Волжско-Камского бассейна, в том числе 8 – впервые были отмечены в фауне России (*Myostenostomum vanderlandi* Rogozin 1992, *Stenostomum constrictum* Luther 1960, *Stenostomum heebuktense* Larsson et Willems 2010, *Macrostomum longituba* Papi 1953, *Koinocystis lacustris* Meixner 1926, *Pontaralia beklemichevi* Mack-Fira 1968, *Microdalyellia tennesseensis* (Ruebush et Hayes 1939) и *Phaenocora variodentata* Meixner 1915) [4].

Целью данной работы является обобщение сведений по составу и распространению турбеллярий в Волжско-Камском бассейне на основе собственных материалов и литературных данных.

В результате, после приведения номенклатуры и синонимии видов в соответствие с современными взглядами на таксономию этой группы, составлен таксономический список и проведена оценка числа видов турбеллярий. За все время исследований в водоемах и водотоках на территории Волжско-Камского бассейна выявлено 143 вида и 42 рода (табл.).

Таблица

Количество таксонов ресничных червей, обнаруженных на территории Волжско-Камского бассейна

Названия таксонов и их ранг	Названия родов с числом входящих видов/подвидов
Catenulida (13/2)	
Catenulida (подтип)	<i>Catenula</i> (1), <i>Myostenostomum</i> (2), <i>Rhynchoscolex</i> (1/1), <i>Stenostomum</i> (9/1)
Rhabditophora (130/5)	
Tricladida (отряд)	<i>Bdellocephala</i> (1), <i>Dendrocoelum</i> (1), <i>Planaria</i> (1), <i>Polycelis</i> (2), <i>Schmidtea</i> (1)
Macrostromorpha (надотряд)	Microstomidae: <i>Microstomum</i> (3) Macrostomidae: <i>Macrostomum</i> (13)
Prorhynchida (отряд)	<i>Geocentrophora</i> (2), <i>Prorhynchus</i> (1)
Prolecithophora (отряд)	<i>Plagiostomum</i> (1)
Bothrioplanida (отряд)	<i>Bothrioplana</i> (1)
Proseriata (отряд)	<i>Otomesostoma</i> (1), <i>Pseudosyrtris</i> (1)
Rhabdocoela: Kalyptorhynchia (подотряд)	<i>Gyratrix</i> (1/1), <i>Koinocystis</i> (2), <i>Opisthocystis</i> (1), <i>Pontaralia</i> (1)
Rhabdocoela: Dalytyphloplanida (подотряд)	Neodalyellida: <i>Provortex</i> (2)
	Neotyphloplanida: Limnotyphloplanida: Dalyelliidae: <i>Castrella</i> (3), <i>Dalyellia</i> (3), <i>Gieysztoria</i> (11), <i>Microdalyellia</i> (13/1), <i>Sergia</i> (1); Typhloplanidae: <i>Bothromesostoma</i> (3), <i>Castrada</i> (19/1), <i>Dochmiotrema</i> (1), <i>Mesocastrada</i> (1), <i>Mesostoma</i> (9), <i>Olisthanella</i> (5/1), <i>Opistomum</i> (5), <i>Phaenocora</i> (9), <i>Rhynchomesostoma</i> (2), <i>Strongylostoma</i> (4/1), <i>Tetracelis</i> (1), <i>Typhloplanana</i> (2), <i>Typhloplanella</i> (1), Typhloplanidae sp. 1 [4]

Господствующей в населении турбеллярий на территории речного бассейна является Limnotyphloplanida, пресноводная по происхождению группа. Ее видовое богатство формируется за счет родов *Castrada*, *Microdalyellia*, *Gieysztoria*, *Mesostoma*, *Phaenocora* и др. Наименьшим числом видов пред-

ставлены преимущественно морские таксоны – *Kalyptorhynchia*, *Microstomidae*, *Neodalyellida*, *Proseriata* и *Prolecithophora*. К наиболее обычным видам, встречающимся в водных объектах по всей территории бассейна, следует отнести *Stenostomum leucops* (Dugés 1828), *Microstomum lineare* (Müller 1774), *Macrostomum distinguendum* Papi 1951, *Gyratrix hermaphroditus* Ehrenberg 1831, *Castrella truncata* (Abildgaard 1789), *Gieysztoria cuspidata* (Schmidt 1861), *Mesostoma productum* (Schmidt 1848), *Olisthanella truncula* (Schmidt 1858) и др. Среди перечисленных по географическому распространению выделяется *M. distinguendum*, известный только из Палеарктики, все остальные виды широко распространены за ее пределами, встречаясь в двух и более зоогеографических областях.

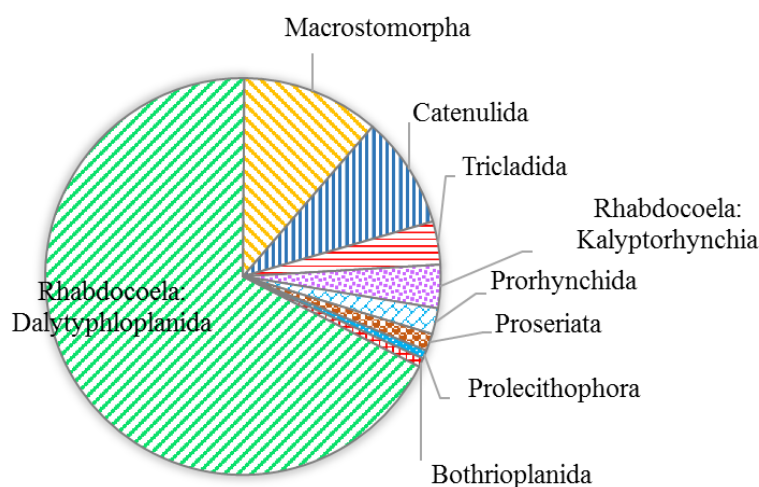


Рис. 1. Соотношение по числу видов основных таксономических групп ресничных червей в Волжско-Камском бассейне

В отношении отдельных регионов сравнительно более изученными являются водные объекты Верхневолжского бассейна (94 вида) и Среднего Поволжья (84), подбассейны рек Ока (72), Кама (56) и Вятка (42); слабо изученным остается Нижнее Поволжье (13). Для последнего из литературы известен ряд обычных видов, тогда как некоторые группы, такие как *Tricladida* или *Limnotyphloplanida* в этом регионе практически не изучены (рис. 2).

Более многочисленную группу из около 60 видов микротурбеллярий составляют формы, обнаруженные лишь в одном из регионов Волжско-Камского бассейна. Отнесение всех их к редким находкам не вполне оправдано. Часть этих видов известна по единичным указаниям более чем 100-летней давности и нуждается в дополнительных фактах, удостоверяющих их присутствие на исследуемой территории: *Bothromesostoma truncatum* Beklemishev 1921, *Castrada chlorea* Braun 1885, *Castrada orloviensis* Nasonov 1919, *Castrella vernalis* Beklemishev 1921, *Dalyellia scoparia* (Schmidt 1858), *Gieysztoria zykovi* (Nasonov 1919), *Macrostomum inflatum* Beklemishev 1951, *Microdalyellia mollosovi* (Nasonov 1920), *Olisthanella multispina* Beklemishev 1924, *Stenostomum ignavum* Vejdovsky 1880 и *Typhloplana minima* (Fuhrmann 1894). Другие, возможно, действительно редкие виды микротурбеллярий, в связи с малыми

размерами (0,5–5,0 мм) и скрытым образом жизни, плохо поддаются выявлению в своих местообитаниях и проведению их количественного учета.

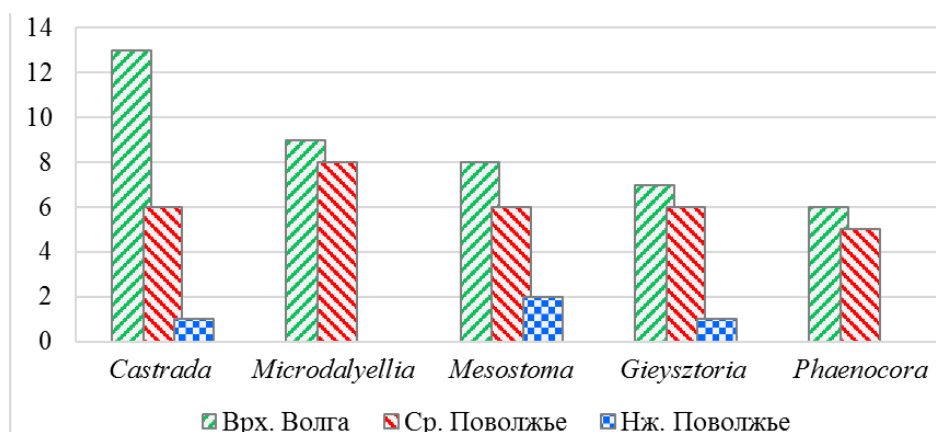


Рис. 2. Распределение числа известных видов (ось ординат) в ведущих родах Limnotyphloplanida в бассейне Верхней Волги, Среднем и Нижнем Поволжье

К редким и уязвимым видам, нуждающимся в охране своих местообитаний на территории Волжско-Камского бассейна, отнесены крупные представители этой группы – триклады. Молочнобелая планария *Dendrocoelum lacteum* (Müller 1774) внесена в Красные книги Нижегородской области, республик Татарстан и Мордовия; *Polycelis nigra* (Müller 1774) – в Красную книгу Курской области; *Bdellocephala punctata* (Pallas 1774) – в Красную книгу Республики Татарстан [5].

Таким образом, в результате обобщения собственного материала и анализа литературных данных установлен видовой состав ресничных червей Волжско-Камского бассейна. Анализ данных позволил упорядочить номенклатуру и синонимику выявленных видов, охарактеризовать встречаемость ресничных червей в водных объектах исследуемой территории. Полученные данные могут быть интегрированы в таксономические сводки и базы данных по биоразнообразию европейской территории России.

Библиографический список

1. Гагарин В. Г. Состав флоры и фауны Волги. Класс Ресничные черви // Волга и ее жизнь. Л. : Наука, 1978. С. 322.
2. Гагарин В. Г., Коргина Е. М. Каталог Turbellaria пресных вод СССР // ИБВВ АН СССР. Борок. Деп. в ВИНТИ. 1982. № 4265-82. 57 с.
3. Коргина Е. М. История изучения и современное состояние фауны турбеллярий бассейна Волги // Биологические ресурсы пресных вод: беспозвоночные. Рыбинск : Дом печати, 2005. С. 151–164.
4. Токинова Р. П., Бердник С. В. Видовой состав и встречаемость свободноживущих плоских червей (Plathelminthes) в пресноводной фауне Среднего Поволжья // Зоологический журнал. 2022. в печати.
5. Красная книга Республики Татарстан (животные, растения, грибы). Изд. 3-е. Казань : Изд-во «Идел-Пресс», 2016. 760 с.

О ДИНАМИКЕ ЧИСЛЕННОСТИ *COLUMBA LIVIA* В ЦЕНТРЕ ГОРОДА ЙОШКАР-ОЛЫ

Н. В. Турмухаметова, Д. С. Глушкова
Марийский государственный университет, bonid@mail.ru

В статье представлены результаты исследования сезонной динамики численности популяции сизого голубя в центральной части г. Йошкар-Олы. За 3 года средняя численность *Columba livia* возросла в 1,15 раза и составила за сезон 2021–2022 гг. 976,5 особей на 1 км².

Ключевые слова: сизый голубь, синантропизация, динамика численности

В настоящее время популяции синантропных видов птиц в городах и других местах проживания человека увеличивается с каждым годом, что привлекает внимания исследователей к изучению процессов формирования устойчивости синантропных видов птиц, таких как сизый голубь – *Columba livia* (Gmelin, 1789) [1, 2]. Адаптивные возможности популяции сизого голубя, проявляющиеся в кормодобывании – питании пищевыми отходами, заселение городского ландшафта могут привести к угрозе возникновения опасных для здоровья и жизни людей эпидемий, так как сизый голубь может быть переносчиком инфекционных заболеваний человека [3]. Знаний о численности популяции сизого голубя на территории г. Йошкар-Олы недостаточно [4, 5], поэтому данный вопрос является актуальным.

Целью настоящей работы является проанализировать сезонную динамику численности сизых голубей в центральной части города Йошкар-Олы.

Сезонную динамику численности голубей изучали в течение года – с весны 2021 по зиму 2022 гг. Учет птиц проводили маршрутным методом на бульварах Победы и Чавайна. Центральную часть города относят к зоне умеренного загрязнения среды со средней автотранспортной нагрузкой, здесь отсутствуют крупные промышленные предприятия [6, 7]. Бульвары привлекательны для многих синантропных птиц благодаря озеленению и наличию доступного корма, в том числе благодаря подкармливанию населением некоторых видов птиц, сизых голубей, в частности. На бульварах учет проводили на трансекте с фиксированной шириной, то есть максимальной обозреваемой ширины с линии хода учетчика, ограничивается она зданиями по обеим сторонам улицы. При подсчете учитываются птицы, сидящие на фасадах зданий и перелетающие в пределах полосы [8, 9]. Протяженность проходимого во время учетов маршрута составляла 4,5 км. Учет проводили постоянно в одно и то же время – с 11.00 по 12.00. Суммарная длина маршрута составила 54 км.

В прошлых работах показано, что в центральной части города было зарегистрировано 13 видов птиц, которые относятся к 4 отрядам с доминированием Воробьинообразных и 8 семействам с преобладанием Врановых [10, 11].

Доминантом же является сизый голубь, доля плотности населения которого составляла от 81,6% в осенний сезон до 97,6% – в летний.

Средняя плотность населения *C. livia* (сидящих и летающих особей) изученного маршрута в Йошкар-Оле не изменялась в течение одного сезона года ($P > 0,05$), однако выявлены статистически значимые различия между 4 сезонами года ($\chi^2 = 45,61$, $\nu = 3$, $P < 0,01$). Так, весной 2021 г. на маршруте было зафиксировано 930,64 особи на 1 км², летом – 806,88, осенью – 1191,97, зимой 2021–2022 гг. – 917,94 особей на 1 км².

Корреляционный анализ изменения плотности населения птиц в зависимости от температуры воздуха выявил статистически значимую связь. Так, при возрастании положительных температур численность голубей сокращается (коэффициент корреляции Спирмена = $-0,88$; $P < 0,001$), при понижении температуры численность птиц также падает (r Спирмена = $0,4$; $P < 0,05$). При пике температуры в $+31$ °С была зафиксирована минимальная численность сизых голубей на маршруте: 15 мая – 505 особей на единицу площади, 26 июня – 515 особей. При чрезмерно высоких температурах птицы чаще находятся в укрытиях.

Изменения численности птиц по сезонам вполне объяснимы. Летом голуби чаще могут питаться семенами растений «зеленой» зоны бульваров. Увеличение численности осенью говорит о появлении нового поколения птиц. За сезон пара имеет до 3–4 выводков из 2 яиц [12, 13]. Конечно, постоянными круглогодичными источниками пропитания птиц остаются мусорные баки, расположенные во дворах домов, граничащих с бульварами. Кроме того, на изученных бульварах в течение многих лет сформировались постоянные локации подкармливания птиц населением, и некоторые особи даже в летний период ждут «подачки» от человека [14]. В зимний период единственным источниками пищи для городских голубей становятся помойки, а также кормовые площадки, где их подкармливают жители. В зимы с сильными и продолжительными метелями погибает довольно много голубей [15].

Следовательно, средняя численность особей сизого голубя в центре Йошкар-Олы составила 976,5 особей на единицу площади. В сезон 2018–2019 гг. средняя численность особей *C. livia* на том же маршруте составляла 846,93 особей на 1 км² [5]. За 3 года выявлено достоверное увеличение популяции сизых голубей в 1,15 раза ($\chi^2 = 33,379$, $\nu = 3$, $P < 0,01$).

Следует отметить, что такая немалая численность голубей в рекреационной части города, является небезопасной для населения. Сизые голуби являются переносчиками около 90 возбудителей разных болезней, из них около 10 зоонозов – заболеваний, передающихся человеку [16].

Данная проблема неконтролируемого роста численности популяции сизого голубя в Йошкар-Оле, которая может привести к нарушению санитарно-эпидемиологической обстановки и причинению вреда здоровью человека, волнует нас не один год. Поэтому в рамках выполнения проекта № 22-1-001004 «Осторожно, орнитоз!» Фонда Президентских грантов на развитие

гражданского общества мы планируем проводить мероприятия по повышению экологической и медико-биологической грамотности населения.

Библиографический список

1. Аринина А. В., Рахимов И. И. Экология сизого голубя (*Columba livia*) в условиях урбанизированной среды города Казани: монография. Казань : Олитех, 2013. 183 с.
2. Гармс О. Я. О городском сизом голубе *Columba domestica livia* в Барнауле // Русский орнитологический журнал. Т. 27. 2018. С. 3445–3462.
3. Кабатова К. К. Эколого-биологическая характеристика сизого голубя (*Columba livia*) в г. Благовещенск Амурской области // Молодежь XXI века: Шаг в будущее : материалы XXI региональной науч.-практ. конф.: в 4 т. Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2020. С. 14–15.
4. Ефремов П. Г., Балдаев Х. Ф. Животный мир Марийской АССР. Птицы. Йошкар-Ола : Марийское кн. изд-во, 1985. 158 с.
5. Турмухаметова Н. В., Ильина М. Б. Суточная и сезонная динамика численности сизого голубя в условиях Йошкар-Олы // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. Киров : ВятГУ, 2019. С. 373–375.
6. Доклад об экологической ситуации в Республике Марий Эл за 2020 г. Ижевск : ООО «Принт», 2021. 80 с.
7. Турмухаметова Н. В. Оценка состояния среды Йошкар-Олы по морфометрическим показателям *Betula pendula* Roth // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2020. № 2. С. 197–204.
8. Равкин Ю. С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск, 1967. С. 66–75.
9. Романов В. В., Мальцев И. В. Методы исследований экологии наземных позвоночных животных: количественные учеты : учебное пособие. Владимир : Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2005. 79 с.
10. Турмухаметова Н. В. Оценка населения и динамики численности птиц в центре Йошкар-Олы // Молодежь и научно-технический прогресс : Сб. докладов XIII междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т. Т. 1. / Сост.: Е. Н. Иванцова, В. М. Уваров [и др.]. Губкин; Старый Оскол : ООО «Ассистент плюс», 2020. С. 446–449.
11. Турмухаметова Н. В., Елпаева О. Н. Структура орнитокомплекса центра Йошкар-Олы // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XV Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. Кн. 2. Киров : ВятГУ, 2020. С. 231–233.
12. Харчук Ю. Голуби от А до Я. М. : Феникс, 2005. 320 с.
13. Бондаренко С. П. Все о голубях. Донецк, 2002. 656 с.
14. Ильина М. Б., Турмухаметова Н. В. Некоторые особенности экологии сизого голубя в условиях г. Йошкар-Олы // Современные проблемы медицины и естественных наук : сб. статей Междунар. науч. конф. Вып. 8. Йошкар-Ола, 2019. С. 141–142.
15. Скрыпникова Е. Б. Особенности городских и сельский популяций сизых голубей голубей // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2008. № 2. С. 56–70.
16. ФБУЗ «Центр гигиенического образования населения Роспотребнадзора» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cgon.rospotrebnadzor.ru/content/63/837> (дата обращения: 10.10.2021).

ЗООБЕНТОС КАК ИНДИКАТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕК КОСТРОМА И ВЁКСА БУЙСКОГО РАЙОНА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. А. Урекин, Т. М. Колесова

Костромской государственной университет, eureka@mail.ru

В статье представлены результаты исследования качественного и количественного состава зообентоса рек Кострома и Вёкса Буйского района Костромской области. Также приводятся данные индексов сапробности, видового сходства и видового разнообразия.

Ключевые слова: зообентос, качественные и количественные показатели, индекс Пантле-Букка, индекс Николаева, индекс биотической дисперсии Коха, индекс видового разнообразия Макинтоша, реки Вёкса и Кострома.

Зообентос, как экологическая группа гидробионтов, объединяет организмы, обитающие на дне водоема (эпибентос) или в его толще (эндобентос). Зообентонты являются звеньями в трофической цепи, способствуют естественному очищению воды, играют важную роль в круговороте биогенных и других веществ, способствуют естественному очищению воды [1].

Актуальна и возможность использования сообществ зообентоса в качестве биоиндикатора состояния водных объектов. Преимуществом использования зообентоса при оценке экологического состояния водоемов является доступность учета, широкий спектр ответов у зообентонтов на нарушения экосистем. Как наиболее долгоживущий и стационарный компонент гидробиоценоза эта группа четко отражает степень загрязнения [2].

В работе рассматриваются показатели качественного и количественного состава зообентоса, индексы видового сходства и разнообразия, а также оценка сапробности рек Вёкса и Кострома Буйского района Костромской области. Актуальность исследования объясняется, во-первых, недостаточной изученностью сообществ зообентоса и экологического состояния вышеуказанных рек, во-вторых, выявлением антропогенной нагрузки на естественные водные объекты, поскольку изучение проводилось как в черте Буйского района, так и за его пределами.

Река Вёкса вытекает из Галичского озера. Впадает в р. Кострома в черте г. Буй и является ее левым притоком. Длина составляет 84 км, ширина – 30–40 м, площадь бассейна – 2880 км². Вытекая из северо-западной оконечности Галичского озера, течет на запад, сильно петляя. Берега обрывистые и, как правило, безлесные, на дне большое содержание ила. Течение в верхнем течении быстрое, к устью ослабевает [3, 4].

Река Кострома протекает по Чухломскому, Солигаличскому, Буйскому и Костромскому районам Костромской области. Является левым притоком р. Волга (устье в г. Кострома). Имеет длину 354 км. В пределах Буйского рай-

она ширина реки превышает 60 м, течение ослабевает, река начинает образовывать большие излучины и разливы. Ранее использовалась для лесосплава [3, 4]. Дно песчаное, песчано-илистое, песчано-каменистое.

Материалом для исследования послужили пробы зообентоса, отобранные в реках Вёкса и Кострома. Материал собирали с трехкратной повторностью в 2021 г.: 30 мая, 25 июля и 23 августа. Всего было отобрано 36 проб, из которых 18 – количественные и 18 – качественные. На каждой исследуемой реке было две мониторинговые точки. Пробы собирали по общепринятым в гидробиологии методикам [5]. При определении видовой принадлежности зообентонтов использовали определительные таблицы следующих авторов: С. Я. Цалолихин, В. Р. Алексеев, 2016 [6]; Б. М. Мамаев, 1972 [7]; Б. М. Мамаев и др., 1976 [8]; Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов, 1977 [9].

Всего за период исследования выявлено 38 видов зообентонтов, относящихся к 4 классам: *Clitellata*, *Gastropoda*, *Bivalvia* и *Insecta*. В каждой исследованной реке было встречено по 22 вида зообентосных организма. В районе исследования *Clitellata* составили 10%, *Gastropoda* – 28%, *Bivalvia* – 28% и *Insecta* – 39%. В р. Кострома *Gastropoda* составили 27%, *Bivalvia* – 32%, *Insecta* – 41%. В р. Вёкса *Clitellata* составили 18%, *Gastropoda* – 32%, *Bivalvia* – 23% и *Insecta* – 27%.

В течение времени исследования количество обнаруженных видов изменялось. Сезонная динамика количества встреченных видов и процентное соотношение таксономических групп представлено в таблице 1.

Таблица 1

Сезонная динамика количества обнаруженных видов в р. Вёкса и р. Кострома за период исследования

Дата	30.05.2021		25.07.2021		23.08.2021	
	р. Кострома	р. Вёкса	р. Кострома	р. Вёкса	р. Кострома	р. Вёкса
Количество обнаруженных видов	10	6	11	9	13	14
Из них:						
<i>Clitellata</i>	–	1 (16%)	–	1 (11%)	–	3 (21%)
<i>Gastropoda</i>	1 (10%)	1 (16%)	2 (18%)	4 (45%)	4 (31%)	6 (42%)
<i>Bivalvia</i>	3 (30%)	3 (51%)	4 (36%)	2 (22%)	5 (38%)	2 (16%)
<i>Insecta</i>	6 (60%)	1 (16%)	5 (46%)	2 (22%)	4 (31%)	3 (21%)

В течение периода исследования происходило постепенное увеличение количества обнаруживаемых видов. Так, минимальные качественные показатели рек Кострома и Вёкса характерны для весенних проб (30.05.2021) – 10 и 6, соответственно. Максимальные – в самый поздний период исследования (23.08.2021), где количество обнаруженных видов в р. Кострома составило 13, а в р. Вёкса – 14.

Для оценки видового разнообразия использовали индекс Макинтоша, изменяемый в пределах от 0 (при наличии только 1 вида в сообществе) до 1

(равномерное распределение численности по видам). Видовое сходство оценивали индексом биотической дисперсии Коха: чем больше значение индекса, тем выше видовая гомогенность участка. Вычисление вышеуказанных индексов проводили по сезонам и за весь период исследования. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Оценка видового разнообразия и видового сходства

Временной промежуток	Индекс видового разнообразия Макинтоша	Индекс биотической дисперсии Коха
30.05.2021	0,68	6,7%
25.07.2021	0,79	5,3%
23.08.2021	0,76	8%
За весь период исследования	0,85	12,3%

Индекс биотической дисперсии Коха для обследованных рек за весь период исследования невелик и составляет 12,3%, что свидетельствует о высокой гетерогенности участка по видовому составу зообентосных организмов. Индекс видового разнообразия за весь период исследования составляет 0,85. Это свидетельствует об относительно равномерном распределении численности по видам, т.е. максимальное разнообразие.

Количественные характеристики проб зообентоса тоже изменялись за весь период исследования. Усредненные количественные показатели сообществ зообентоса представлены в таблице 3.

Таблица 3

Средние значения численности (экз./м²) и биомассы (г/м²) рек Кострома и Вёкса

Река	Численность (экз./м ²)	Биомасса (г/м ²)
30.05.2021		
р. Кострома	55	141,6
р. Вёкса	47	215,3
25.07.2021		
р. Кострома	68	224,7
р. Вёкса	68	43,2
23.08.2021		
р. Кострома	68	394,2
р. Вёкса	142	296,3

Максимальная численность наблюдается в р. Вёкса 23 августа 2021 года – 142 экз./м². Представлена численность, в основном, *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758), *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) и *Cincinna studeri* Boeters et Falkner, 1998. Минимальная численность характерна для этой же реки 30 мая 2021 – 47 экз./м². Наибольшим значением биомассы отличается р. Кострома 23 августа 2021 года – 394,2 г/м², которая представлена, в основном, *Unio protractus* Lindholm, 1922. Самые низкие показатели биомассы наблюдаются в р. Вёкса 25 июля 2021 года – 43,2 г/м². В целом, с течением времени видна тенденция к увеличению численности и биомассы зообентонтов в пробах. Стоит

подчеркнуть, что количественные показатели сообществ зообентоса увеличивались с весны по осень.

Оценку качества воды в реках проводили по методу Николаева и индексу сапробности по Пантле-Букку (в модификации М. В. Чертопруда). Вычисление уровня загрязнения проводили по сезонам и за весь период исследования. Сравнение величин индексов и их соответствие классу качества водных экосистем приведено в таблице 4.

Таблица 4

Биотические индексы и их соответствие качеству воды

Дата	Водоем	Метод	Значение индекса	Класс качества воды в соответствии с методом
30.05.2021	р. Кострома	Николаева	30	3
		Пантле-Букка	2,33	3
	р. Вёкса	Николаева	25	3
		Пантле-Букка	2,26	3
25.07.2021	р. Кострома	Николаева	30	3
		Пантле-Букка	2,35	3
	р. Вёкса	Николаева	25	3
		Пантле-Букка	2,44	3
23.08.2021	р. Кострома	Николаева	25	3
		Пантле-Букка	2,35	3
	р. Вёкса	Николаева	21	4
		Пантле-Букка	2,61	4
За весь период исследования	р. Кострома	Николаева	35	3
		Пантле-Букка	2,33	3
	р. Вёкса	Николаева	35	3-4
		Пантле-Букка	2,41	3

Исследованные реки в течение каждого сезона и всего периода исследования имели 3 класс качества (β -мезосапробный). Таким образом, воду в водотоках можно охарактеризовать как умеренно-загрязненную. Причиной такого качества воды может служить антропогенная нагрузка, оказываемая на водотоки в черте города и района: канализационные стоки, промышленность, сельское хозяйство и рекреационные территории. Имеют место быть причины естественного характера, связанные со старением водоема и, как следствие, его эвтрофикацией.

Изучение особенностей сообществ зообентоса рек Кострома и Вёкса с последующей экологической оценкой имеет большое значение, поскольку наряду с другими реками они формируют гидрографическую сеть Костромской области. Данные реки изучены недостаточно. Однако стоит отметить, что изучение р. Кострома проводится в г. Кострома, где она впадает в р. Волга, но р. Вёкса изучена недостаточно. Необходим дальнейший мониторинг для оценки состояния и изучения механизмов функционирования данных водных экосистем. Перспективы исследования включают в себя также изучение притоков рек Кострома и Вёкса.

Библиографический список

1. Урекин Е. А. Биоразнообразие и структура сообществ макрозообентоса речных экосистем г. Буя Костромской области // Ступени роста – 2021 : материалы 73-й межрегиональной науч.-практ. конф. молодых ученых. Кострома : Костромской государственный университет, 2021. С. 66.
2. Семенченко В. П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. Минск : Орех, 2004. 125 с.
3. Хорошев А. В., Немчинова А. В., Авданин В. О. Ландшафты и экологическая сеть Костромской области. Кострома : КГУ им. Н. А. Некрасова, 2013. 428 с.
4. Дубровский А. П., Кондрашов Д. Л. На байдарках по Вексе и Костроме. М. : Физкультура и спорт, 1971. 32 с.
5. Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С. Краткий определитель беспозвоночных пресных вод центра европейской России. М. : Макс Пресс, 2003. 195 с.
6. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / Под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М.-СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.
7. Мамаев Б. М. Определитель насекомых по личинкам. М. : Просвещение, 1972. 400 с.
8. Мамаев Б. М., Медведев Л. Н., Правдин Ф. Н. Определитель насекомых европейской части СССР. М. : Просвещение, 1976. 304 с.
9. Кутикова Л. А., Старобогатов Я. И. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 511 с.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАЗМЕРОВ ЖУЖЕЛИЦЫ *PTEROSTICHUS NIGER* SCHALL. (COLEOPTERA, CARABIDAE) В РАЗНЫХ ЧАСТЯХ АРЕАЛА

*Н. Л. Ухова*¹, *В. В. Алексанов*², *С. С. Гордиенко*³, *Р. А. Суходольская*⁴

¹ Висимский государственный заповедник, *ikh08@yandex.ru*

² Государственное бюджетное учреждение Калужской области

«Дирекция парков», *victor_alex@list.ru*

³ Лицей № 145 г. Казани,

⁴ Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, *ra5suh@rambler.ru*

В статье представлены данные по изменчивости размеров и морфометрической структуре популяций жужелицы *Pterostichus niger*. Размер жуков, обитающих на территории Висимского заповедника, больше, чем у жуков Калужской области. Морфометрическая структура исследованных популяций различается статистически значимо.

Ключевые слова: изменчивость размеров, жужелицы, морфометрическая структура.

Размер тела опосредует многие аспекты жизненно важных признаков животных, и его пространственная изменчивость считается актуальной темой в биогеографии [1]. Одним из догматов биогеографии является тезис об увеличении размеров особей близкородственных видов эндотермов в широтном

градиенте (правило Бергмана). Этот паттерн переносили и на эктотермов с поправкой на альтернативные механизмы [2–4]. Однако до сих пор не ясно, насколько изменчивость размеров пойкилотермов коррелирует с таковым у эндотермов. В действительности, учитывая фундаментальные различия теплокровных и холоднокровных в процессах терморегуляции, трудно предположить, что все выше названные гипотезы применимы к пойкилотермам [5–9]. Поэтому правило Бергмана, не зависимо от механизмов его поддерживающих, будет не применимо к эктотермам, что открывает широкое поле деятельности в плане изучения реализации изменчивости размеров у этих животных. В этом отношении актуальными становятся исследования по описанию паттернов изменчивости в конкретных условиях среды.

Представляемая работа продолжает цикл исследований по оценке паттернов изменчивости размеров тела у жуков – жужелиц (Coleoptera, Carabidae). Последние считаются прекрасными модельными объектами для проведения такого рода работ: они чутко реагируют на изменения в среде обитания, имаго не растет в течение онтогенеза, их биология и экология хорошо изучены, они обитают практически во всех наземных экосистемах [10]. Для кларификации механизмов, поддерживающих изменчивость размеров, необходимы большие базы эмпирических данных, которые являются основой для последующего моделирования. На Research Gates в рамках проекта «Body size variation in Ground Beetles» представлен целый цикл работ по характеру изменчивости размеров жужелиц в разных условиях среды. Наиболее полная база заполнена для *Pterostichus melanarius* Ill., для которого показана пилообразная кривая изменчивости размеров и неизменность значений полового диморфизма в широтном градиенте, а также выявлен ряд факторов среды, значимо влияющих на размеры жуков [11]. В отношении *P. niger* предварительные исследования также показали аналогичную изменчивость размеров в широтном градиенте [12], а также то, что размеры жуков меньше на урбанизированной территории [13–14], а по изменчивости формы жуков просматривается слабо выраженный широтный градиент: в регионах с более суровым по сравнению с Татарстаном климатом меняются в первую очередь параметры формы переднеспинки и головы [15].

Представляемая работа пополняет базу данных об изменчивости размеров жужелиц *P. niger* в двух точках его ареала.

Жуки были отловлены в Калужской области (в двух биотопах) и Свердловской области (два биотопа на территории Висимского государственного заповедника). Морфометрические промеры проводили в лаборатории биомониторинга Института проблем экологии и недропользования АН Республики Татарстан с использованием самописной программы на Python. Жуков обмеряли по шести признакам: длина и ширина надкрылий, переднеспинки и головы. Всего проанализировано 226 особей.

Результаты показали, что жуки, обитающие в Висимском заповеднике, по размерам больше таковых в Калужской области. На рисунке представлены данные по длине надкрылий, признаку, который считается proximate для раз-

меров тела. По остальным исследованным признакам картина была аналогичной. Из приведенного рисунка видно также, что на размеры влияет и тип биотопа: совершенно ожидаемо, что на насыпи кормовые условия беднее, чем в березняке, что сказывается на росте личинок, а, следовательно, и на размерах имаго. При этом жуки из Калужской области (а она расположена южнее Висимского заповедника) в целом мельче, что наводит на мысль о соответствии изменчивости размеров исследуемого вида правилу Бергмана. Однако ограниченность выборок жуков не дает основания говорить об этом с полным правом.

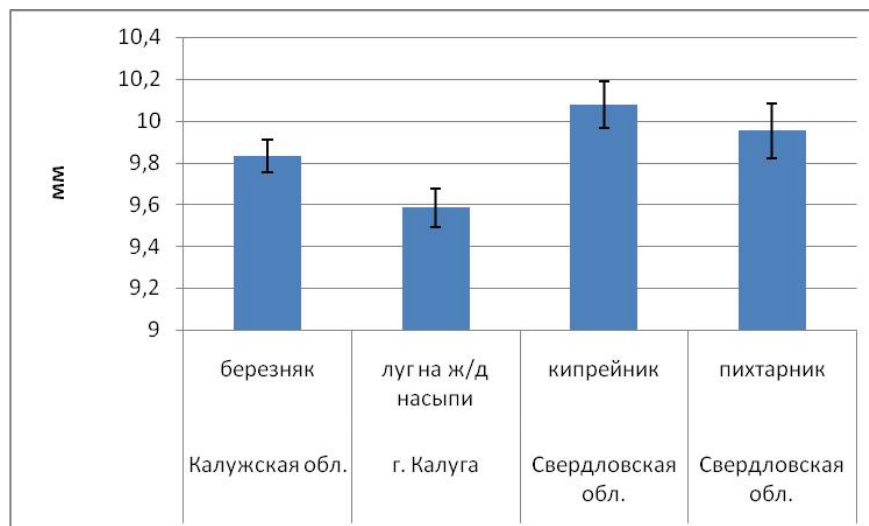


Рис. Длина надкрылий в популяциях *P. niger*

Библиографический список

1. Smith F. A., Lyons K. On being the right size: the importance of size in life history, ecology and evolution. Animal body size – linking pattern and process across space time and taxonomic group / ed. by F. A. Smith and K. Lyons. The University of Chicago Press, Chicago, IL. 2013. 12 p.
2. Ray C. The application of Bergmann's and Allen's rules to the poikilotherms // Journal of Morphology. 1960. Vol. 106. P. 85–108.
3. Cushman J. H., Lawton J. H., Manly B. F. J. Latitudinal patterns in European ant assemblages: variation in species richness and body size // Oecologia. 1993. Vol. 95. P. 30–37.
4. Geographic body size gradients in tropical regions: water deficit and anuran body size in the Brazilian Cerrado / M. A. Olalla-Tarraga, J. A. F. Diniz-Filho, R. P. Bastos, M. A. Rodriguez // Ecography. 2009. Vol. 32. P. 581–590.
5. Ashton K. G., Feldman C. R. Bergmann's rule in nonavian reptiles: turtles follow it, lizards and snakes reverse it // Evolution. 2003. Vol. 57. P. 1151–1163.
6. Adams D. C., Church J. O. Amphibians do not follow Bergmann's rule // Evolution. 2008. Vol. 62. P. 413–420.
7. Pincheira-Donoso D. The balance between predictions and evidence and the search for universal macroecological patterns: taking Bergmann's rule back to its endothermic origin // Theory in Biosciences. 2010. Vol. 129. P. 247–253.
8. Pincheira-Donoso D., Hodgson D. J., Tregenza T. The evolution of body size under environmental gradients in ectotherms: why should Bergmann's rule apply to lizards? // BMC Evolutionary Biology. 2008. Vol. 8. P. 1–13.
9. Meiri S. Bergmann's Rule – what's in a name? // Global Ecology and Biogeography. 2008. Vol. 20. P. 203–207.

10. Teofilova T. Бръмбарите бегачи (Coleoptera: Carabidae) и тяхната роля като био-агенти // Наука за гората. Специално издание. 2020 // Forest science. Special Issue. 2020. P. 125–142.
11. Modeling Sexual Differences of Body Size Variation in Ground Beetles in Geographical Gradients: A Case Study of *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) (Coleoptera, Carabidae) / S. Luzyanin, A. Saveliev, N. Ukhova, I. Vorobyova, I. Solodovnikov, A. Anciferov, R. Shagidullin, T. Teofilova, S. Nogovitsyna, V. Brygadyrenko // Life. 2022. Vol. 12. P. 112. <https://doi.org/10.3390/life12010112>
12. Sukhodolskaya R., Saveliev A. Body size variation in Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae) in latitude gradient // Periodicum Biologorum. 2016. Vol. 118. No. 3. P. 273–278.
13. Саяхова Г. Р., Суходольская Р. А. Изменчивость размеров и структуры популяций жужелицы *Pterostichus niger* (Carabidae, Coleoptera) в г. Уфе // Экология городской среды: история, современность и перспективы : сборник статей Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: Астрахань, 2018. С. 57–60.
14. Изменчивость структуры сообществ и размеров жуков-жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в градиенте антропогенного воздействия / Р. А. Суходольская, Д. Н. Вавилов, Т. А. Гордиенко, Т. Р. Мухаметнабиев // Поволжский экологический журнал. 2020. № 1. С. 99–114. doi: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-1-99-114>
15. Суходольская Р. А., Гордиенко Т. А., Вавилов Д. Н. Влияние факторов среды на изменчивость формы жужелицы *Pterostichus niger* Sch. // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 3. С. 58–68.

ПОЧВЕННАЯ ФАУНА ЛЕСОВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ (ЗАПОВЕДНИК «НУРГУШ», УЧАСТОК «ТУЛАШОР»)

А. А. Фатеева

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, fateeva@ib.komisc.ru

Проведен анализ численности, обилия, таксономической и трофической структуры сообществ почвенных беспозвоночных Государственного природного заповедника «Нургуш», участка «Тулашор». Выявлено 12 таксонов представителей почвенной мезофауны, по девять на каждом из исследованных участков катены. Обнаружены таксоны, которые встречаются только на одном, либо на двух участках: Gastropoda, Carabidae, Hymenoptera, Lumbricidae. На всех участках доминируют личинки двукрылых (Diptera). Оценка трофической структуры показала, что самое большое количество крупных сапрофагов отмечено на локации в нижней части катены в долине реки Фёдоровка. Микроартроподы представлены Collembola, Oribatida, Gamasina и другими Acari. На всех участках по численности преобладают Oribatida. Отмечено относительно равномерное распределение мелких сапрофагов и зоофагов по катене.

Ключевые слова: почвенные беспозвоночные, мезофауна, микроартроподы, заповедник «Нургуш», Тулашор, южная тайга.

Важнейшую роль в сохранении редких видов живых организмов в лесной зоне играют крупные малонарушенные лесные территории и редкие эко-

топы [1–3]. Однако, в силу удаленности этих территорий от населенных пунктов и труднодоступности, инвентаризация их флоры и фауны актуальна по настоящее время.

Заповедник «Нургуш» образован в 1994 г. в Котельничском районе Кировской области. В 2010 г. территория заповедника была расширена за счет присоединения участка «Тулашор», расположенного в Нагорском районе Кировской области [4, 5]. Участок «Тулашор» находится на границе Кировской области и Республики Коми, в подзоне средней тайги [6]. Его основным водотоком служит р. Федоровка, приток второго порядка р. Вятки. Участок создан для сохранения самого южного мало нарушенного участка средней тайги. Его природоохранная ценность в качестве эталона средней тайги на востоке европейской части России была осознана на несколько десятилетий раньше [7]. Площадь заповедного участка – 178,155 км², его охранной зоны – 175,661 км². Исследуемая территория сложена современными аллювиальными отложениями. Рельеф типично пойменный, представлен множеством грив и межгривных понижений, обилием озер – стариц. Весной почти вся территория затапливается (в пик половодья – на 98% площади). Климат умеренно континентальный. Средняя годовая температура +2,2 °С. Средняя температура июля +18,0 °С, января -13,9 °С. Продолжительность безморозного периода 120 дней. Годовая сумма осадков 583 мм, из них 385 мм выпадает в виде дождя [8, 9]. Почвы на пойменных участках дерново-аллювиальные, на гривах, с преобладанием хвойных пород – слабо оподзоленные суглинистые [8]. Лесопокрытая территория составляет 87,4% площади заповедника. Спелые и перестойные леса занимают 70,3% лесопокрытой площади, они уникальны по своей сохранности и не подвергались рубке. В подлеске встречаются неморальные кустарники: *Euonymus verrucosa*, *Rhamnus cathartica* и *Daphne mezereum*. В травяном покрове обильно неморальное широколистное из *Asarum europaeum*, *Pulmonaria obscura*, *Aegopodium podagraria*, *Campanula latifolia*, а также *Vincetoxicum hirundinaria*.

Флора заповедника хорошо изучена и включает 484 вида сосудистых растений. Постоянное ядро флоры составляет 469 (97,6%) видов, что свидетельствует о высокой степени сохранности природных комплексов заповедника. Беспозвоночные животные заповедника и его охранной зоны представлены 1270 видами, относящимися к 12 типам и 21 классу [8]. Изучены и редкие виды растений, грибов и животных заповедника [10].

Но почвенная фауна участка Тулашор ранее целенаправленно не изучалась, хотя они играют крайне важную роль в функционировании лесных и не только почв, принимают участие в минерализации и гумификации растительных остатков, участвуют в почвообразовательном процессе и повышении плодородия почв [11]. Поэтому цель проводимых нами исследований состоит в выявлении численности, состава и структуры сообществ почвенных беспозвоночных в ненарушенных сосновых лесах.

Исследование проводили в июне 2021 г. в Государственном природном заповеднике «Нургуш», на участке «Тулашор». Оценка численности, обилия,

таксономической и трофической структуры сообществ почвенных беспозвоночных проведена в сосновом лесу. На катене выбраны три участка: первый участок (N 59°39'13.1" E 050°04'38.3") расположен в верхней части, представлен сосняком зеленомошным, занимает элювиальную позицию (E1); второй участок (N 59°39'13.4" E 050°04'38.2") – сосняк папоротничково-зеленомошный, расположенный на склоне и занимающий транзитную позицию (Tr); третий участок (N 59°39'12.3" E 050°04'33.2") расположен в нижней части, в долине реки Фёдоровка, представлен сосняком разнотравно-папоротничково-зеленомошным, занимает аллювиальную или аккумулятивную позицию (Ac) на катене.

Пробы отбирали пробоотборниками размером 10x10x5 см (для оценки численности крупных беспозвоночных) и 5x5x5 см (для оценки численности микроартропод), на глубину органогенного горизонта 4–7 см, на расстоянии 5 м друг от друга. Выгонку беспозвоночных из субстрата осуществляли в пенициллиновые пузырьки с 70% этиловым спиртом, выдерживая почвенные образцы на эклекторах при естественном освещении и без электрического обогрева 5–7 дней до полного высыхания. Далее под бинокулярным микроскопом проводили идентификацию беспозвоночных, подсчитывали численность различных таксонов почвенной фауны и определяли таксономический состав. Данные температуры воздуха взяты из архива погоды г. Сыктывкара, размещенного на сайте <https://www.gismeteo.ru>. Достоверность различий оценивали при помощи критерия Манна–Уитни с поправкой Бонферрони. Стандартную статистическую обработку результатов проводили при помощи компьютерной обработки данных в программе Microsoft Office Excel 7.0 и PAST.

В результате проведенного исследования всего в изученном сосняке, на трех участках, выявлено 12 таксонов крупных беспозвоночных. На каждом из трех участков обнаружено по девять таксонов. Сообщества крупных беспозвоночных незначительно отличаются по таксономическому составу на элювиальной, транзитной и аккумулятивной позициях катены. Таксоны Diptera (Двукрылые), Lithobiidae (Костянки), Elateridae (Щелкуны), Staphylinidae (Стафилиниды), Cantharidae (Мягкотелки), Thysanoptera (Трипсы), Coccidae (Щитовки) обнаружены на всех трех участках. Однако, нами обнаружены некоторые таксоны, которые встречаются только на одном либо на двух участках. Так класс Gastropoda (Брюхоногие моллюски) обнаружены только на первом участке, расположенном в верхней части катены, личинки семейства Carabidae (Жужелицы) – на склоне катены, представители отряда Hymenoptera (Перепончатокрылые) – лишь на третьем участке, в долине р. Фёдоровки. Lumbricidae (Дождевые черви) не выявлены на склоне катены (Tr), так как, вероятно, предпочитают разнотравные сообщества. На всех участках доминируют личинки Diptera (рис. 1А).

Состав микроартропод по позициям катены схож, представлены таксоны Collembola (Ногохвостки), Oribatida (Панцирные клещи), Gamasina (Гамазовые клещи). По численности среди микроартропод преобладают орибати-

ды, что характерно для таежных лесов. Численность изученных групп микроартропод максимальна на склоне катены (рис. 1В).

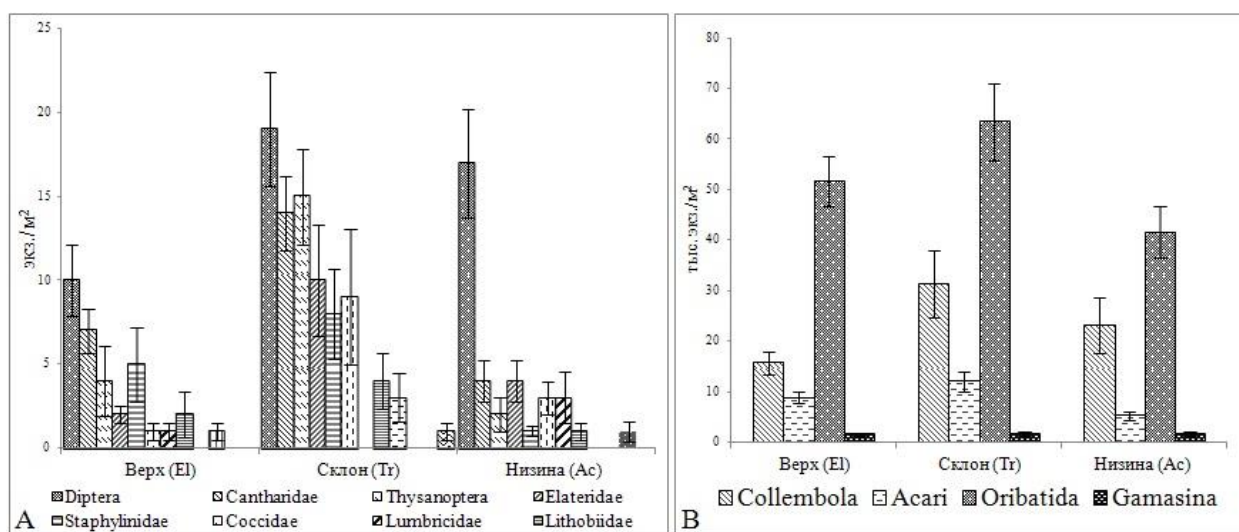


Рис. 1. Общая численность почвенной мезо– (А) и микрофауны (В) в сосняках на катене. El – элювиальная, Tr – транзитная, Ac – аккумулятивная позиция катены

Эта же тенденция отмечена для крупных беспозвоночных. Численность орибатид на первом участке выше относительно третьего участка, а численность коллембол, напротив, возрастает в нижней части катены относительно ее верхней части. Аналогичное повышение численности в сосняке разнотравно-папоротничково-зеленомошном отмечено для дождевых червей, личинок двукрылых и шелкоунов, а возрастание численности в сосняке зеленомошном характерно для мягкотелок, стафилинид и косянок.

Такие изменения численности почвенных беспозвоночных на катене обусловлены гидротермическим режимом почв. Почвы трех участков отличались по показателям влажности (Mann–Whitney U test; $p < 0,001$), самым влажным участком, как и следовало ожидать, является нижний участок в долине реки Федоровки (Ac), а наименьшие показатели влажности почвы отмечены на верхнем участке (El). Так как июнь выдался относительно теплым и сухим, со среднемесячной t° воздуха $+18,5^\circ\text{C}$ и суммой осадков 63,2 мм, то и средняя температура подстилок в день отбора образцов на трех участках незначительно отличалась (Mann–Whitney U test; $p < 0,01$), на верху катены составила $+12,7^\circ\text{C}$, что на $0,5\text{--}0,6^\circ\text{C}$ теплее, чем в низине и на склоне. В итоге, подстилочный горизонт почвы верхнего участка относительно теплый и сухой, подстилки на склоне менее теплые и более увлажненные относительно первого участка, а почвы внизу катены менее теплые, но самые увлажненные. И именно это определяет разнообразие и максимальную численность беспозвоночных в сосняке папоротничково-зеленомошном, на склоне, а также повышенную численность дождевых червей, личинок двукрылых и шелкоунов, коллембол в сосняке разнотравно-папоротничково-зеленомошном, в долине реки.

Оценка трофической структуры сообществ почвенных беспозвоночных в исследуемых сосняках показала, что самое большое количество крупных и мелких сапрофагов отмечено в нижней части катены, в долине р. Фёдоровки (Ас). Это, вероятно, связано с достаточным количеством органики, оставшейся после обмелъчания реки. Причем численность крупных сапрофагов здесь поддерживается за счет дождевых червей, успешно переживающих неблагоприятные условия в период паводков, проволочников с многолетним периодом развития и личинок двукрылых, являющихся временными г-стратегами (рис. 2А). Соотношение сапрофагов и зоофагов среди микроартропод по позициям катены равномерное (рис. 2В), что закономерно, так как орибатиды и коллемболы – основные деструкторы органического вещества почв в таежных лесах.

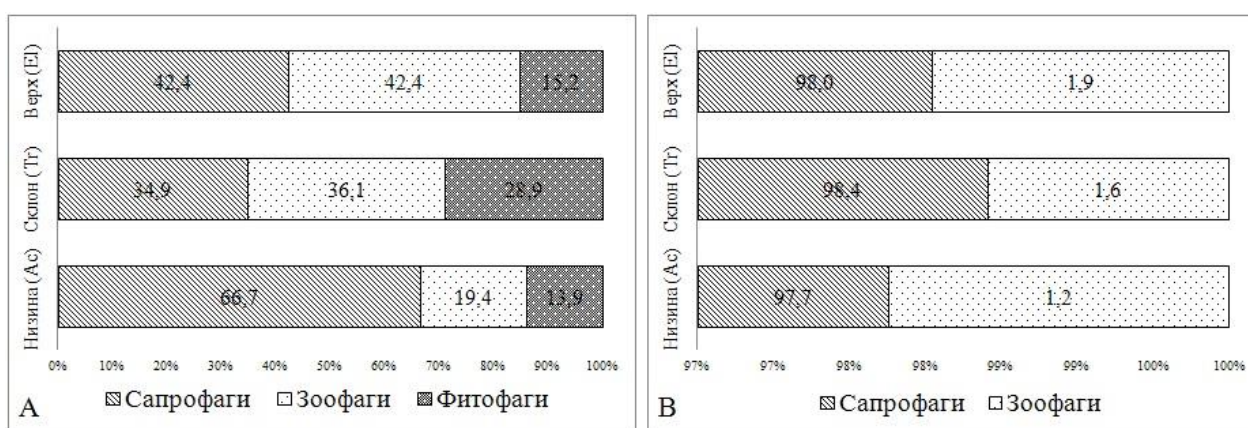


Рис. 2. Трофическая структура почвенной мезо– (А) и микрофауны (В) в сосняках на катене. Е1 – элювиальная, Тг – транзитная, Ас – аккумулятивная позиция катены

Таким образом, незначительные отличия в составе, численности и структуре сообществ беспозвоночных сосняков свидетельствуют об их устойчивом состоянии в условиях нетронутого коренного леса южной тайги и характеризуют их естественную динамику на катене.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы НИР отдела экологии животных «Разнообразие фауны и пространственно-экологическая структура животного населения европейского северо-востока России и сопредельных территорий в условиях изменения окружающей среды и хозяйственного освоения», рег. № 1021051101423–9–1.6.12;1.6.13;1.6.14

Библиографический список

1. Атлас малонарушенных лесных территорий России / Д. Е. Аксенов, Д. В. Добрынин, М. Ю. Дубинин, А. В. Егоров, А. С. Исаев, М. Л. Карпачевский, Л. Г. Лестадиус, П. В. Потапов, А. Ж. Пуреховский, С. А. Турубанова, А. Ю. Ярошенко. М. : МСоЭС; Вашингтон: World Resources Institute, 2003. 186 с.
2. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / под ред. О. В. Смирнова. М. : Наука, 2004. Кн. 1. 479 с.
3. Малонарушенные лесные территории в бореальных лесах мира. Происхождение, развитие, значение и возможное будущее концепции малонарушенных лесных территорий

применительно к бореальным лесам / И. В. Журавлева, А. В. Комарова, П. В. Потапов, С. А. Турубанова, А. Ю. Ярошенко // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2016. Т. 1(1). С. 1–11.

4. Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Киров : Старая Вятка, 2015. Т. 3. 179 с

5. Целищева Л. Г. Распространение липовой моли-пестрянки (*Phyllonorycter issikii* Kumata) в заповеднике «Нургуш» // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем : материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров, 2015. С. 140–144.

6. Панюкова Е. В., Бакка С. В. К фауне кровососущих комаров участка «Тулашор» заповедника «Нургуш» : труды госулар. природ. заповедника «Нургуш». Киров : ООО «Типография «Старая Вятка», 2017. Т. 4. С. 97–100.

7. Колесников Б. П., Попов Л. В. Эталоны коренных таежных местностей, желательная их дислокация и проблемы изучения // Эталонные участки таежной природы : материалы IV расширенного заседания Научного Совета СО АН СССР по комплексному освоению таежных территорий. Иркутск, 1973. С. 5–21.

8. Тарасова Е. М., Кондрухова С. В., Целищева Л. Г. Государственный природный заповедник «Нургуш» // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 2. С. 90–97.

9. Бородина Н. В., Кантор Г. Я. Оценка биоразнообразия лесной растительности государственного природного заповедника «Нургуш» // Вестник Института биологии. Сыктывкар, 2004. № 10. С. 29–37.

10. Редкие виды растений, грибов и животных заповедника «Нургуш» / Л. Г. Целищева, Е. М. Тарасова, Е. П. Лачоха, С. В. Кондрухова, С. В. Пестов, В. М. Рябов, С. Е. Шубин // Труды госулар. природ. заповедника «Нургуш». Киров : ООО «Типография «Старая Вятка», 2015. Т. 3. С. 152–166.

11. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality / C. Wagg, S. F. Bendera, F. Widmer, M. G. A. van der Heijden // PNAS. 2014. Vol. 111. No. 14. P. 5266–5270.

СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ РЫБ РЕКИ УРАЛ

Р. Ф. Хасанова¹, Д. И. Мустакимова²

¹ Государственное автономное научное учреждение
«Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»,
rezeda78@mail.ru

² ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет,
sharanova1997@bk.ru

В работе рассматриваются особенности накопления и распределения тяжелых металлов в организме рыб реки Урал, протекающей по территории Оренбургской области. Изучены мышцы, чешуя, жабры леща (*Abramis brama* L.) и судака обыкновенного (*Sander lucioperca* L.). Выявлено превышение ПДК по Zn и Cd. Изучаемые элементы в большей степени аккумулируются в жабрах и чешуе. Активное взаимодействие их с внешней средой снижает защиту от воздействия различных токсичных элементов, поступающих в водоемы.

Ключевые слова: река Урал, Республика Башкортостан, Оренбургская область, тяжелые металлы.

Увеличение антропогенного влияния на водные объекты и загрязнение их тяжелыми металлами (ТМ) является актуальной экологической проблемой [1].

Рыбы занимают верхний трофический уровень в биоценозах водных экосистем и имеют ярко выраженную способность совместно с другими гидробионтами накапливать загрязняющие вещества, в том числе ТМ [2]. Некоторые элементы и их соединения входят в состав ферментов, витаминов, гормонов и являются обязательной составляющей организмов гидробионтов, которые участвуют в дыхании, кровообразовании, белковом, углеводном и жировом обмене [3].

В организм рыб ТМ попадают через жабры и органы пищеварительной системы, реже через кожные покровы. Попав в организм, токсичные элементы чаще всего не подвергаются существенным превращениям, как это происходит с органическими веществами, и, включившись в биохимический цикл, они крайне медленно покидают его [4].

Оценку опасности аккумуляции токсичных элементов необходимо проводить с учетом их отнесения к той или иной группе. Их принято делить на 3 группы: эссенциальные микроэлементы (необходимые для живого организма – Fe, Cu, Zn, Mn); условно-эссенциальные (необходимы для организма, их роль в организме изучена еще не полностью – Ni); токсичные (в определенной концентрации оказывающие негативное действие на организм – Cd, Pb) [5].

Повышенное содержание токсичных веществ в организме рыб свидетельствует о их значительной концентрации в водной среде, и способствует нарушению жизнедеятельности обитателей водоемов, что ведет к функциональным нарушениям во всех звеньях гидроэкосистемы. Данные о содержании токсичных элементов в организме рыб часто используются для оценки экологического состояния водоема.

Река Урал – одна из самых протяженных и многоводных рек. Протекает по территориям Республики Башкортостан, Оренбургской и Челябинской областей. Исследования ряда авторов подтверждают, что на экологическое состояние реки оказывают влияние промышленные выбросы, которые загрязняют ее ионами токсичных металлов, нефтепродуктами, фенолами, сульфатами, а также органическими веществами, поступающими с сельскохозяйственными и городскими стоками [6].

Цель работы – выявить особенности распределения тяжелых металлов в организме рыб реки Урал.

Объектами исследований выбраны виды рыб лещ обыкновенный (*Abramis brama* L.) и судак обыкновенный (*Sander lucioperca* L.), преобладающие в реке. Рыб ловили сетями в количестве 35 экз. в летний сезон 2021 года. Высушенные и измельченные образцы тканей и органов рыб (жабры, мышцы, чешуя) анализировали на содержание Cu, Zn, Cd, Pb. Содержание ТМ в воде анализировали на атомно-абсорбционном спектро-

метре ContrAA, в биологических образцах – вольтамперометрическим анализатором TA-lab. Концентрации ТМ в организме рыб сравнивали с нормативами (СанПиН 2.3.2. 560-96, СанПиН 2.3.2.1078-01) [7, 8].

Результаты исследования накопления ТМ в органах и тканях рыб представлены в таблице.

Таблица

**Содержание тяжелых металлов в тканях и органах рыб реки Урал
(мг/кг)**

Металл	ПДК	Мышцы	Чешуя	Жабры
Cu	10	1,6±0,7	1,51±0,28	1,2±0,7
Zn	40	23±7	48±11	67±8
Cd	0,1	0,11±0,10	0,18±0,10	0,21±0,09
Pb	1,0	0,002±0,001	0,002±0,001	0,002±0,001

Полученные результаты указывают, что среднее содержание Cu и Pb в исследуемых органах и тканях рыб не превышает ПДК.

Содержание цинка варьирует в пределах 23,–67 мг/кг. Концентрация Zn в чешуе и жабрах превышает допустимые концентрации в 1,1–1,6 раз. Высокое содержание цинка в жабрах можно объяснить тем, что биологическая роль цинка в организме рыб заключается в участии регуляции многих звеньев обмена веществ в составе цинксодержащих ферментов. Цинк участвует в обмене витамина А. Установлено его незначительное участие в поддержании стабильности мембран эритроцитов и обмене незаменимых жирных кислот. Литературные источники указывают, что цинк в большей степени накапливается в слизи, жабрах, почках, скелете [9].

Кадмий является одним из токсичных элементов, в наибольшей степени содержится в жабрах (0,21 мг/кг) и чешуе (0,18 мг/кг). Его концентрация в мышцах (0,11 мг/кг) значительно ниже по сравнению с другими органами, однако выше установленных ПДК.

Анализ аккумуляции ТМ в органах и тканях рыб показал, что они распределяются в них в зависимости от особенностей функционирования органов и активностью элемента. Cu – мышцы>чешуя>жабры. Zn и Cd – жабры>чешуя>мышцы. Значительное геохимическое сродство Zn и Cd предопределяет и подобие транспорта этих элементов в организм рыб, где они в основном концентрируются в мышцах и чешуе. Активное взаимодействие их с внешней средой снижает защиту от воздействия различных токсичных элементов, поступающих в водоемы [10].

Таким образом, результаты исследования показали необходимость регулярного отслеживания концентрации ТМ в организме рыб. Использование методов ихтиоиндикации позволяет оценивать экологическое состояние водных объектов.

В связи с тем, что токсическое действие ТМ выражается не столько накоплением одного элемента, а сколько в их взаимосвязи с другими веществами, для выявления токсичности на организм рыб также необходимы дополнительные исследования.

Работа подготовлена за счет финансового обеспечения выполнения государственного задания ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан» на 2022 год (руководитель темы – Я. Т. Суюндуков).

Библиографический список

1. Попов П. А. Оценка экологического состояния водоемов методами ихтиоиндикации. Новосибирск : Изд-во НГУ, 2002. 267 с.
2. Распределение тяжелых металлов в органах и тканях промысловых видах рыб Киевского водохранилища / А. П. Мельник, С. В. Курганский, Н. М. Власова, Н. Г. Михайленко // Рыбохозяйственная наука Украины. 2009. № 1. С. 93–99.
3. Пешков А. С. Аккумуляция тяжелых металлов в рыбе как гигиенический критерий оценки загрязнения водоемов // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Западного Урала : тезисы докладов конф. Пермь, 1987. С. 45.
4. Детлофф Г. М., Бейли Г. К., Майер К. Дж. Эффекты растворенной меди на некоторые гематологические, биохимические и иммунологические показатели радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) // Архивы загрязнения окружающей среды и токсикологии. 2001. С. 371–380.
5. Андреев В. В. Видовые особенности содержания микроэлементов и показателей крови осетровых рыб в период нерестовой миграции // Роль микроэлементов в жизни водоемов. М., 1980. С. 122–139.
6. Гидробиология реки Урала / под общей ред. Б. С. Драбкина. Челябинск : Южно-Уральское книжное издательство, 1971. 103 с.
7. СанПиН 2.3.2.1078-01. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» М. : Минздрав России, 2002. 216 с.
8. СанПиН 2.3.2.560-960. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. М. : Деловой центр, 1997. 269 с.
9. Карпевич А. Ф. Роль разных концентраций веществ в обменных процессах гидробионтов // Биохимия и защита среды. М. : Наука, 1979. 113 с.
10. Евтушенко Н. Ю., Данилко О. В. Особенности накопления тяжелых металлов в тканях рыб Кременчугского водохранилища // Гидробиологический журнал. 1996. Т. 32. № 4. С. 58–66.

ПОЛЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ЗАПОВЕДНИК КАК РЕЗЕРВАТ СОДЕРЖАНИЯ ЛОШАДЕЙ

А. А. Царенок, А. Ф. Карпенко, О. Н. Антипенко

*Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»,
a.tsarenok@tut.by*

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник является уникальным местом в Беларуси, в котором сохраняется повышенный радиационный фон. С 1996 года на территории заповедника содержатся лошади русской тяжеловозной породы. Действие низкоинтенсивного хрониче-

ского радиационного воздействия в малых дозах в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции представляет значительный научный и практический интерес.

Ключевые слова: лошади, заповедник, корма, ^{137}Cs , ^{90}Sr .

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ПГРЭЗ) является уникальным местом в Беларуси, где сохраняется повышенный радиационный фон. Здесь сосредоточено около 30% ^{137}Cs , более 70% ^{90}Sr и около 97% трансурановых элементов [1–3]. За прошедшее после аварии время мощность дозы на территории ПГРЭЗ снизилась и продолжает снижаться. На территории производственных участков ПГРЭЗ, где содержатся лошади, сохраняется плотность радиоактивного загрязнения и мощность экспозиционной дозы в отдельных местах достигает 1,0–1,5 мкЗв/час. Влияние хронического радиационного воздействия в малых дозах на организм животных, в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС), представляет как научный интерес, так и практическую значимость.

Цель работы – изучить поступление радионуклидов в организм взрослых лошадей на территории ПГРЭЗ.

Измерение содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах проводили аппаратным способом на бета-гамма-радиометре «Атомтех» МКС АТ1315 с погрешностью не более 30%. При расчетах рационов лошадей использовались фактические данные по удельной активности содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах, а также справочные данные по питательности кормов [4–6].

Измерение прижизненного содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей проводили с помощью радиометра дозиметра МКС-01 «Советник». Данные обрабатывались методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов с использованием стандартного компьютерного программного обеспечения (Excel 7.0) [7].

По данным Национального статистического комитета в Беларуси по состоянию на 01.01.1941 года имелось 1170 тыс. лошадей, к началу 1991 г. поголовье лошадей сократилось до 217 тыс. голов и в последующие годы продолжалось сокращение поголовья, минимум которого в количестве 33,6 тыс. голов, достиг к началу 2021 года. К этому времени в сельскохозяйственных организациях находилось 40%, фермерских хозяйствах – 3,0% и личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) – 57,0% поголовья лошадей [8]. По областям республики поголовье лошадей в хозяйствах всех категорий составляло от 4,4 тыс. в Гродненской области до 6,6 тыс. в Брестской.

В течение 2021 г. в ПГРЭЗ содержалось около 400 лошадей разного половозрастного состава, что составило около 7% от областного показателя. В заповеднике все поголовье территориально разбито на 3 группы: Брагинский, Наровлянский и Хойникский участки. На Брагинском участке содержатся молодые 1–2 летние кобылы в количестве 67 голов, на Наровлянском –

50 голов молодых жеребцов такого же возраста и на Хойницком – 278 голов основного поголовья.

Основу рациона лошадей в летне-пастбищный период составляет трава естественных и посевных пастбищ и сенокосов (зеленый корм).

Уровни содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в кормах ППРЭЗ определяли в течение 2020–2021 годов. С этой целью проводился отбор проб кормов, получаемых с сенокосно-пастбищных угодий (зеленой массы травостоев, сена) и полей севооборотов (зерна), расположенных на территории экспериментально-хозяйственной зоны ППРЭЗ, с последующим определением в них содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr . Установлено, что плотность загрязнения почв сенокосов и пастбищ на площади 349 га и полей зерновых культур на площади 271 га составляла по ^{137}Cs 15–25 Ки/км² (555–925 кБк/м²), по ^{90}Sr – от 1,0 до 2,0 Ки/км² (37–74 кБк/м²). В 2020 г. удельное содержание ^{137}Cs в зеленой массе травостоев сенокосов варьировало от 17 до 32 Бк/кг, ^{90}Sr от 129 до 150 Бк/кг, пастбищ – ^{137}Cs от 21 до 63 Бк/кг, ^{90}Sr от 168 до 191 Бк/кг. Накопление ^{90}Sr в зеленой массе сенокосов было выше в 4,7–7,6 раз, пастбищ – в 3,0–8,0 раз в сравнении с накоплением ^{137}Cs .

В сене злаковом содержалось ^{137}Cs от 27 до 49 Бк/кг и ^{90}Sr от 164 до 331 Бк/кг. Превышение содержания ^{90}Sr в сене превосходило содержание ^{137}Cs в 6,1–6,8 раз.

В 2021 г. удельное содержание ^{137}Cs в зеленой массе травостоев сенокосно-пастбищных угодий колебалось от 14,2 до 112 Бк/кг, ^{90}Sr от 33,8 до 133,3 Бк/кг. Удельное содержание ^{90}Sr превышало аналогичное содержание ^{137}Cs в 1,2–2,4 раза. Это свидетельствует о том, что в 2021 г. концентрация ^{90}Sr в травостое сенокосно-пастбищных угодий была меньше, чем в предшествующем году.

В сене злаковом содержание ^{137}Cs варьировало от 14,2 до 112 Бк/кг, ^{90}Sr – от 33,8 до 298 Бк/кг. В сравнении с 2020 г. в сене установлено несколько меньшее накопление ^{90}Sr .

Проведенные исследования травостоев сенокосов на территории экспериментально-хозяйственной зоны ППРЭЗ, показали, что они представляют собой совокупность нескольких видов растений, из которых один (реже два) является доминирующим, и таким образом, концентрация радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в растениях этого вида, в значительной степени определяет уровень загрязнения травостоя в целом. Более низким накоплением ^{137}Cs и ^{90}Sr на почвах сенокосов экспериментально-хозяйственной зоны ППРЭЗ, отличаются представители семейства злаковых (*Poaceae*) – 210–250 Бк/кг, а более высоким – семейства осоковых (*Cyperaceae*) – 300–350 Бк/кг).

В отношении концентрированных кормов показано, что в урожае зерновых 2020 г. содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в зерне овса находилось соответственно на уровне 10 Бк/кг и ^{90}Sr 35 Бк/кг, зерне тритикале 10,1 Бк/кг и 40,8 Бк/кг и зерне ячменя 8,4 Бк/кг и 49 Бк/кг.

Также установлено, что в урожае зерновых культур 2021 г. содержание ^{137}Cs в зерне овса находилось в количестве 10,0 Бк/кг, ^{90}Sr – 35 Бк/кг, соответ-

ственно в зерне тритикале – 5,0 Бк/кг и 40,8 Бк/кг, в зерне ячменя – 7,5 Бк/кг и 49 Бк/кг. Такие показатели удельного содержания радионуклидов свидетельствуют о том, что зерновые корма пригодны для скармливания лошадям без ограничений.

Заготовленные для лошадей на зимне-стойловый период корма с полей экспериментально-хозяйственной зоны заповедника соответствовали нормативным требованиям (содержание ^{137}Cs в зеленой массе до 165 Бк/кг, сене злаковом до 1300 Бк/кг) и они пригодны для скармливания лошадям без ограничений. Урожайность зерновых культур возделываемых на полях хозяйственно-экспериментальной зоны ПГРЭЗ в 2021 г. в среднем составила 19,6 ц/га, в том числе ячменя – 16,4 ц/га, овса – 22 ц/га, тритикале – 21 ц/га. Урожайность сена находилась на уровне 12 ц/га.

При оценке уровней содержания ^{137}Cs в организме лошадей разных половозрастных групп исходили из того, что согласно требованиям РДУ-99, удельная активность ^{137}Cs в конине (мышечная ткань) не должно превышать 370 Бк/кг. Для этого общее содержание ^{137}Cs в суточном рационе лошадей в возрасте трех лет должно быть не более 5200 Бк/сутки. В соответствии с РДУ-99 содержание ^{90}Sr в конине не нормируется.

При радиологическом анализе кормления животных было установлено, что среднее содержание в суточном рационе лошадей в зимне-стойловый период 2021 года составило по ^{137}Cs – 731,5 Бк/сутки, по ^{90}Sr – 1929 Бк/сутки. При удельной активности ^{137}Cs 731,5 Бк/сутки удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей находится на уровне $298,7 \pm 0,8$ Бк/кг. Для определения удельного содержания ^{90}Sr в тканях и органах лошадей, при его содержании в рационе 1929 Бк/сутки, требуется проведение дальнейших исследований.

Основными кормами рациона лошадей зимне-стойлового периода являются сено злаковое, солома ячменная, овес, ячменная дерть и тритикале. В качестве минеральной подкормки лошадей используется соль поваренная и премиксы.

В летне-пастбищный период 2021 г. среднее содержание в рационе лошадей ^{137}Cs установлено в количестве 1574 Бк/сутки, ^{90}Sr – 4069 Бк/сутки. В данный период лошади выпасались на культурных пастбищах с применением загонной системы выпаса. Структура рациона лошадей в летний период состояла из зеленой массы (95 %) и концентратов (5 %).

При скармливании лошадям зеленых кормов сенокосов и пастбищ со средним содержанием ^{137}Cs в рационе в течение летне-пастбищного периода в количестве 1574 Бк/сутки, удельная активность радионуклида в мышечной ткани была на уровне $239,8 \pm 0,6$ Бк/кг. Содержание в рационе ^{90}Sr (4069 Бк/сутки) превышало аналогичное содержание ^{137}Cs в 2,6 раза.

Результаты прижизненной дозиметрии лошадей (109 голов) радиометром-дозиметром МКС-01 «Советник» не выявили превышения содержания ^{137}Cs в мышечной ткани лошадей выше 300 Бк/кг.

Установлено, что в зимне-стойловый период в организме лошадей ^{137}Cs и ^{90}Sr накапливается более интенсивно, чем в летне-пастбищный период.

Таким образом, исследование радиологических показателей содержания и кормления лошадей в ПГРЭЗ свидетельствует, что плотность загрязнения почв сенокосов и пастбищ ^{137}Cs , под зерновыми культурами составляет 15–25 Ки/км² (555–925 кБк/м²), ^{90}Sr – от 1,0 до 2,0 Ки/км² (37–74 кБк/м²). Заготавливаемые для лошадей зерновые, грубые и сочные корма с полей экспериментально-хозяйственной зоны заповедника соответствуют нормативным требованиям и пригодны для скармливания лошадям без ограничений. Среднее содержание ^{137}Cs в суточном рационе лошадей в зимне-стойловый период 2021 г. составляло около 731,5 Бк/сутки, ^{90}Sr – 1929 Бк/сутки, в летне-пастбищный период соответственно 1574 Бк/сутки и 4069 Бк/сутки. В мышечной ткани лошадей прижизненной дозиметрией установлено содержание ^{137}Cs не более 300 Бк/кг при действующем нормативном значении 370 Бк/кг.

Библиографический список

1. История преодоления последствий Чернобыльской катастрофы / Департамент по ликвидации последствий на Чернобыльской АЭС МЧС Республики Беларусь. Минск, 2020. 319 с.
2. Карпенко А. Ф. Биогеохимия почв юго-востока Беларуси как основа кормопроизводства. Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2021. 233 с.
3. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / под ред Н. Н. Цыбулько. Минск : ИВЦ Минфина, 2021. 144 с.
4. Дубежинский Е. В., Почкина С. Н. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Коневодство». Горки, 2011. 201 с.
5. Кормовые нормы и состав кормов : справ. пособие / А. П. Шпаков, В. К. Назаров, И. Л. Певзнер, Б. С. Маковский. Мн. : Ураджай, 1991. 384 с.
6. Портной А. И., Другакова В. А. Управление качеством молока при интенсификации молочного скотоводства : монография. Горки : БГСХА, 2017. 310 с.
7. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск : Высшая школа, 1973. 318 с.
8. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2021. С. 115–149. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.belstat.gov.by> (дата обращения 14.01.2022).

ФАУНА МОКРИЦ (CRUSTACEA, ISOPODA, ONISCIDEA) НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Л. Г. Целищева

Кировский городской зоологический музей, tselishchevalg@mail.ru

В статье приведен аннотированный список мокриц (Crustacea, Isopoda, Oniscidae), собранных в населенных пунктах Кировской области. Обнаружено пять видов наземных изопод, три из которых отмечаются впервые – *Cylisticus convexus* (De Geer, 1778), *Porcellio spinicornis* Say, 1818, *Protracheoniscus major* (Dollfus, 1903).

Ключевые слова: мокрицы, Oniscidae, Кировская область, биоразнообразие, распространение, синантропные виды.

Мокрицы играют важную роль в природных и антропогенных биоценозах. Они участвуют в биологическом круговороте наземных экосистем, выступают в роли важных элементов пищевых цепей. Эти беспозвоночные являются сапрофагами и принимают участие в почвообразовательных процессах. Потребляя мертвые растительные остатки, они способствуют их дальнейшему разложению, минерализации и гумификации [1]. Среди мокриц много видов-вселенцев, которые легко распространяются с почвой и посадочным материалом, и могут повреждать корни тепличных культур.

В мировой фауне мокриц (Isopoda, Oniscidea) известно более 3600 видов [2]. Видовой состав наземных ракообразных России включает 64 вида, самое высокое видовое разнообразие наблюдается в степи и лесостепи; в естественной среде мокрицы встречены до изоклины, которая отражает период со среднесуточной температурой воздуха выше +10°C в течение 120 дней в году [3].

В Кировской области изучению данной группы наземных изопод уделялось мало внимания. Был указан один вид мокриц – *Oniscus asellus* Linnaeus, 1758 [4], проверить достоверность определения которого в настоящее время не представляется возможным.

В учетах почвенных беспозвоночных они указывались определенными до подотряда Мокрицы (Oniscidae). В 1994 году в 12 типах леса в окрестностях с. Кстинино (примерно в 25 км южнее г. Кирова – 58,4082° с.ш. 49,7375° в.д.) за весь вегетационный сезон было собрано 30 экз. мокриц (0,006 экз./ 10 л. с.) [5]. В г. Кирове в окр. сл. Чижи в первой декаде июля 2005 года их численность была: на поле ячменя – 1 экз. на 10 ловушко-суток, на разнотравном лугу – 10,3 экз. / 10 л. с., в лесополосе между зерновых полей – 10,6 экз. / 10 л. с., в лесопарке (15-летние посадки березы) – 1 экз./ 10 л. с. [6]. При изучении комплексов почвенных беспозвоночных в г. Кирове в зоне воздействия ТЭЦ-5 отмечено доминирование мокриц в почвенной мезофауне на разнотравном лугу в 500 метрах от точки выброса данного предприятия: 21.08-02.09.2015 – 22,5 ± 4,43 экз. / 10 л. с., 02.09-13.09.2015 – 45,2 ± 7,14 экз. / 10 л. с., в это же время на золоотвалах в 3,3 км от ТЭЦ-5 они не отлавливались [7]. За период исследования (с 2008 г. по 2017 г.) почвенной мезофауны на экологическом профиле реки Вятки на участке «Нургуш» заповедника «Нургуш» (Котельничский район Кировской области) мокрицы не встречались; на участке «Тулашор» данного заповедника (Нагорский район Кировской области) их также не отмечали в сборах почвенными ловушками.

В 2021 году в ходе изучения почвенной мезофауны городского газона в г. Кирове нами было выявлено два вида мокриц: *Trachelipus rathkii* (Brandt, 1833) и *Porcellio scaber* Latreille, 1804 [8].

Согласно литературным данным, в умеренных и северных широтах наблюдается склонность наземных изопод к синантропизации [9]. В населенных пунктах мокрицы могут обитать как в урбанизированных био-

ценозах, так и в различных строениях. Например, в г. Калуге их обнаружено 6 видов [9], в Москве и Московской области – 12 [3].

Для установления видового состава наземных изопод населенных пунктов Кировской области использованы собственные сборы мокриц, а также неопределенный материал, любезно предоставленный коллегами. Мокрицы были отловлены с помощью почвенных ловушек, почвенных раскопок, а также выполнялся их ручной сбор. Определено около 240 экземпляров мокриц по определителям Н. Т. Залесской и Л. Б. Рыбалова [10] и Д. Д. Хисаметдиновой [11]. Названия видов даны по каталогу Г. Шмальфусса [3]. Определение проверено и подтверждено д. б. н. К. Б. Гонгальским (ИПЭЭ РАН, г. Москва).

В результате исследования выявлено 5 видов мокриц, относящихся к 4 семействам Cylisticidae, Porcellionidae (2 вида), Agnaridae, Trachelipodidae. Три вида отмечаются впервые для фауны Кировской области: *Cylisticus convexus* (De Geer, 1778), *Porcellio spinicornis* Say, 1818, *Protracheoniscus major* (Dollfus, 1903).

Ниже приведен аннотированный список, в котором приведены сведения о местах и датах сбора мокриц, числе экземпляров и фамилии коллекторов.

Аннотированный список мокриц населенных пунктов Кировской области.

Семейство Cylisticidae

Cylisticus convexus (De Geer, 1778).

г. Киров, окр. ТЭЦ-5, разнотравный луг (58,54410° с. ш., 49,57487° в. д.), почв. лов., 09.08-21.08.2015, 4 экз.; там же, 09.09-13.09.2015, 1 экз., собр. Оносов А. А.

Семейство Porcellionidae

Porcellio spinicornis Say, 1818.

г. Киров, Октябрьский пр., 87, газон во дворе дома (58,61768° с. ш., 49,65551° в. д.), почв. лов., 11.07.2021, 1 экз., собр. Целищева Л. Г.

Porcellio scaber Latreille, 1804.

г. Киров, окр. ТЭЦ-5, разнотравный луг (58,54410° с. ш., 49,57487° в. д.), почв. лов., 09.08-21.08.2015, 64 экз.; там же, 02.09-13.09.2015, 85 экз.; там же, 08.08-14.08.2016, 2 экз., собр. Оносов А. А.

г. Киров, Октябрьский пр., 87, газон во дворе (58,61768° с. ш., 49,65551° в. д.), почв. лов., 04.07.2021, 2 экз., собр. Целищева Л. Г.

Семейство Agnaridae

Protracheoniscus major (Dollfus, 1903).

г. Киров, окр. сл. Чижи, луг (58,56788° с. ш., 49,68931° в. д.), почв. лов., 02.07.2005, 1 экз., собр. Целищева Л. Г.; Октябрьский пр., 87 (58,61703° с. ш., 49,65604° в. д.), в здании, коридор на 3 этаже, 10.12.2017, 2 экз., собр. Лимонова Е. Н.; ул. Преображенская, д. 41, корпус ВятГУ (58,60585° с. ш., 49,67075° в. д.), 2 этаж, туалет, (координаты), 25.11.2021, 4 экз.; там же, 2 этаж, коридор, 25.11.2021, 2 экз., собр. Целищева Л. Г.; там же, 2 этаж, кабинет, 25.11.2021, 2 экз., собр. Масленникова О. В.; ул. Лепсе, 31, в здании, подвал, (58,61510° с. ш., 49,62691° в. д.), 09.11.21, 2 экз., собр. Ляпунов А. Н.; ул. Ле-

нина, 179 (58,5773° с. ш., 49,68410° в. д.), 1 этаж кирпичного дома, тамбур на входе в администрацию зоомузея, 28.03.2022, 1 экз., собр. Сотников В. Н.

Кировская обл., Вятскополянский район, г. Сосновка (56,25397° с. ш., 51,29798° в. д.), в здании, 30.11.2022, 5 экз., собр. Сморкалова Э. В.

Семейство Trachelipodidae

Trachelipus rathkii (Brandt, 1833).

Кировская обл., Кирово-Чепецкий р-н, с. Кстинино, ул. Новая, 4 (58,44756° с. ш., 49,78415° в. д.), сад, под досками, 31.08.2000, 2 экз., собр. Целищева Л. Г.

г. Киров, окр. сл. Чижи, разнотравный луг (58,56788° с. ш., 49,68931° в. д.), 02.07.2005, почв. лов., 6 экз.; лесополоса (58,56808° с. ш., 49,69180° в. д.), почв. лов., 10.07.2005, 9 экз.; Октябрьский пр., 87, газон во дворе дома (58,61768° с. ш., 49,65551° в. д.), почв. лов., 11.07.2021, 11 экз., собр. Целищева Л. Г.

Кировская обл., Котельничский р-н, с. Боровка (57,95262° с. ш., 48,33809° в. д.), под дровами, 27.07.20, 11 экз., собр. Крылова Г. В.

Кировская обл., Оричевский р-н, п. Торфяной (58,49050° с. ш., 49,19657° в. д.), в старой холодной постройке, 15.08.2021, 10 экз., собр. Ляпунов А. Н.

Таким образом, в фауне мокриц населенных пунктов Кировской области установлено обитание 5 видов. *Protracheoniscus major* встречался преимущественно в отапливаемых зданиях, остальные четыре вида – в парках, садах, на газонах населенных пунктов. Вид *Trachelipus rathkii* тяготеет к обитанию в малонарушенных естественных биоценозах вблизи поселений человека.

Полученные сведения по фауне мокриц – предварительные. Необходимо продолжить сбор материала для уточнения видового состава наземных изопод региона, их распространения как на территории населенных пунктов, так и в естественной среде.

Автор выражает искреннюю благодарность д. б. н. К. Б. Гонгальскому (ИПЭЭ РАН, г. Москва) за подтверждение определения мокриц и помощь в определении ряда видов, а также коллегам – за предоставление материала.

Библиографический список

1. Островский А. М. К фауне мокриц (Crustacea: Isopoda: Oniscidea) юго-востока Беларуси // Трансформация Экосистем. 2019. № 2 (2). С. 1–10.
2. Schmalfuss H. World catalog of terrestrial isopods (Isopoda: Oniscidea). Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, 2003. Serie A. Nr.654. 341 pp.
3. Kuznetsova D. M., Gongalsky K. B. Cartographic analysis of woodlice fauna of the former USSR // Zookeys. 2012. Vol. 176. P. 1–11. Published online 2012 Mar 20. doi: 10.3897/zookeys. 176.2372
4. Животный мир Кировской области. Киров, 1971. Т. 1. 303 с.
5. Савинова О. Е., Целищева Л. Г. Жужелицы в почвенной мезофауне лесов Кировской области // Вятская земля в прошлом и настоящем : материалы IV науч.-практ. конф. Киров : ВГПУ, 1999. С. 211–212.
6. Особенности урбоэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока. Киров : Изд-во ВятГГУ. 282 с.

7. Касьянова А. А., Оносов А. А., Пестов С. В. Почвенные беспозвоночные в зоне влияния ТЭЦ-5 (г. Киров) // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 439–444.

8. Целищева Л. Г. Мониторинг почвенной мезофауны городского газона // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XIX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : Вятский государственный университет, 2021. С. 385–391.

9. Алексанов В. В. Распределение мокриц (Isopoda, Oniscoidea) в городе Калуге // Урбоэкосистемы. Проблемы и перспективы развития : материалы III междунар. науч.-практ. конф. Ишим, 2008. С. 167–169.

10. Залеская Н. Т., Рыбалов Л. Б. Фауна мокриц (Crustacea, Isopoda, Oniscoidea) Москвы и Московской области // Почвенные беспозвоночные Московской области. М. : Наука, 1982. С. 170–178.

11. Хисаметдинова Д. Д. Определитель мокриц (Isopoda: Oniscoidea) Ростовской области // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2014. № 2. С. 72–76.

ЗООБЕНТОС РЕКИ ШУВАН В РАЙОНЕ пгт АРБАЖ

М. Л. Цепелева

*Вятский научно-технический информационный центр
мониторинга и природопользования, marinatsepeleva@mail.ru*

Исследован таксономический состав донных беспозвоночных на трех станциях р. Шуван (бассейн р. Вятка) выше и ниже сброса хозяйственно-бытовых сточных вод. Составлен общий таксономический список зообентоса. По составу организмов оценено состояние водотока в районе пгт Арбаж.

Ключевые слова: зообентос, численность, биомасса, биоиндикационные данные, качество воды

Река Шуван – левобережный приток реки Пижма, впадающий в нее на 85 км от устья. Общая длина реки составляет 37 км [1].

Экологические исследования, проведенные в сентябре 2021 г., включали оценку состояния бентосных сообществ р. Шуван в районе сброса хозяйственно-бытовых сточных вод пгт Арбаж. Изучение зообентоса производили на трех станциях реки (табл. 1).

Отбор и обработку проб зообентоса проводили по общепринятой методике [2–4]. Всего было отобрано 11 проб донных беспозвоночных.

Таксономический состав зообентоса реки представлен в таблице 1. На исследованном участке водотока зарегистрировано 52 таксона.

Таблица 1

Таксономический состав зообентоса реки Шуван

Таксон	Фон (356 м выше)	Ниже сброса сточных вод	
		45 м	143 м
1	2	3	4
Oligochaeta n.det.	+	+	+
Hirudinea			
Glossiphoniidae			
<i>Helobdella stagnalis</i> (Linnaeus)	–	–	+
<i>Hemiclepsis marginata</i> (Müller)	+	–	–
<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus)	–	+	+
Erpobdellidae			
<i>Erpobdella nigricollis</i> (Brandes)	+	+	–
<i>Er. octoculata</i> (Linnaeus)	+	+	+
Mollusca			
Pisidiidae n.det	+	+	+
Unionidae			
<i>Unio</i> sp.	+	–	–
Acroloxidae			
<i>Acroloxis lacustris</i> (L.)	+	+	–
Bulinidae			
<i>Planorbarius</i> sp.	+	+	+
Bithyniidae			
<i>Bithynia</i> sp.	+	+	+
Lymnaeidae			
<i>Lymnaea</i> sp.	–	–	+
Planorbidae n.det	+	–	–
Valvatidae			
<i>Valvata</i> sp.	–	+	+
Isopoda			
Asellidae			
<i>Asellus aquaticus</i> (Linne)	+	+	+
Ephemeroptera			
Baetidae			
<i>Cloeon</i> sp.	+	+	+
<i>Baetis</i> sp.	+	+	+
Caenidae			
<i>Caenis horaria</i> (L.)	+	+	+
Ephemeridae			
<i>Ephemera vulgata</i> L.	+	+	+
Heptageniidae			
<i>Heptagenia</i> sp.	+	+	+
Leptophlebiidae			
<i>Leptophlebia</i> sp.	+	+	+
Odonata			
Calopterygidae			
<i>Calopteryx virgo</i> L.	+	+	+
<i>C. splendens</i> (Harris)	+	–	+
Platycnemididae			

1	2	3	4
<i>Platycnemis pennipes</i> (Pallas)	+	–	+
Gomphidae			
<i>Gomphus vulgatissimus</i> (L.)	–	–	+
Heteroptera			
Aphelocheiridae			
<i>Aphelocheirus aestivalis</i> (F.)	+	+	–
Corixidae			
<i>Sigara</i> sp.	–	–	+
Notonectidae			
<i>Notonecta</i> sp.	–	–	+
Coleoptera			
Elmidae			
<i>Elmis</i> sp., im.	–	+	–
<i>Limnius</i> sp., lv.	+	+	+
Gyrinidae			
<i>Orectochilus</i> sp., lv.	+	+	–
Dytiscidae			
<i>Dytiscus</i> sp., lv.	+	+	+
Hydraenidae			
<i>Hydraena</i> sp., im.	+	+	+
Haliplidae			
<i>Haliphus</i> sp., lv.	–	–	+
Megaloptera			
Sialidae			
<i>Sialis sordida</i> Klingstedt	–	–	+
Trichoptera			
Goeridae			
<i>Goera pilosa</i> (F.)	+	–	–
Hydropsychidae			
<i>Hydropsyche pellucidula</i> Curtis	+	+	–
Polycentropodidae n.det	+	+	–
Sericostomatidae n.det	+	–	+
Limnephilidae n.det	+	–	+
Leptoceridae n.det	+	+	+
Hydroptilidae			
<i>Ithytrichia lamellaris</i> Eaton	+	+	–
<i>Hydroptila tineoides</i> Dalman	–	–	+
<i>Oxyethira</i> sp.	–	+	–
Molannidae			
<i>Molanna angustata</i> Curtis	–	+	+
Diptera			
Limoniidae			
<i>Eloeophila</i> sp.	–	+	–
<i>Pilaria</i> sp.	–	+	–
Simuliidae n.det	+	+	+
Chironomidae n.det	+	+	+
Ceratopogonidae n.det	+	+	+

1	2	3	4
Empididae n.det	+	–	+
Tabanidae n.det	+	+	+
Всего	37	35	37

Примечание: «+» – таксон найден; «–» – таксон не найден.

Биомасса зообентоса в среднем по р. Шуван составила 23,48 г/м² при численности 10,51 тыс.экз./м² (табл. 2). Наибольшее значение в донных сообществах по численности имели хирономиды и олигохеты, по биомассе – двустворчатые и брюхоногие моллюски.

На фоновом участке реки биомасса бентоса составила 18,18 г/м² при численности 10,05 тыс.экз./м² (табл. 2). В створе найдено 37 таксонов, среди которых по численности доминировали хирономиды (39,3%) и олигохеты (20,5%), по биомассе – двустворчатые (47,3%) и брюхоногие (11,0%) моллюски.

На участке «на 45 м ниже сброса сточных вод» отмечены представители 35 таксонов (табл. 1). По сравнению с фоном из состава зообентоса исчезают: пиявка *Hemiclepsis marginata*, двустворчатый моллюск из рода *Unio*, брюхоногие моллюски из сем. Planorbidae, стрекозы *Calopteryx splendens* и *Platycnemis pennipes*, ручейники из сем. Sericostomatidae и Limnephilidae, а так же *Goera pilosa* и двукрылые из сем. Empididae. Биомасса донных беспозвоночных составила 6,54 г/м² при численности 16,62 тыс.экз./м² (табл. 2). Наблюдается существенное снижение биомассы (в 2,0–7,7 раза) олигохет, двустворчатых моллюсков, жуков, болотниц и клопов. Биомасса хирономид, брюхоногих моллюсков, слепней, поденок и пиявок, в сравнении с фоном, увеличивается в 1,6–8,1 раза. Биомасса мошек и мокрецов остается на уровне фоновых значений. По численности преобладали хирономиды (34,2%) и олигохеты (23,6%), по биомассе – двустворчатые (23,6%) и брюхоногие (22,3%) моллюски, поденки (21,1%).

В створе «на 143 м ниже сброса сточных вод» отмечены представители 37 таксонов (табл. 1). По сравнению с фоном исчезают: пиявки *Hemiclepsis marginata* и *Erpobdella nigracollis*, двустворчатый моллюск из рода *Unio*, брюхоногие моллюски из сем. Planorbidae и *Acroloxis lacustris*, клоп *Aphelocheirus aestivalis*, жуки из рода *Orectochilus*, ручейники из сем. Polycentropodidae, а так же *Goera pilosa*, *Hydropsyche pellucidula*, *Ithytrichia lamillaris* и двукрылые из сем. Limoniidae. Общая численность организмов составила 14,93 тыс.экз./м², биомасса – 37,74 г/м² (табл. 2). В сравнении с фоном увеличивается биомасса (в 2,2–18,3 раза) двустворчатых моллюсков, жуков, хирономид, поденок, олигохет, мокрецов, пиявок, брюхоногих моллюсков и слепней. Биомасса ручейников и толкунчиков снижается в 2,1–3,0 раза. По численности доминировали олигохеты (38,3%) и хирономиды (23,4%), по биомассе – брюхоногие (33,8%) и двустворчатые (26,9%) моллюски.

Таблица 2

**Количественные показатели зообентоса р. Шуван
(1 – численность, экз./м², 2 – биомасса, г/м²)**

Группа зообентоса	Фоновый створ (356 м выше сброса)		Ниже сброса сточных вод			
			45 м		143 м	
	1	2	1	2	1	2
Oligochaeta	2064,0	1,080	1544,0	0,560	5720,0	2,944
Hirudinea	32,0	0,176	56,0	1,424	40,0	1,104
Mollusca, Bivalvia	400,0	8,600	232,0	3,920	616,0	10,160
Mollusca, Gastropoda	136,0	1,992	168,0	3,712	168,0	12,744
Isopoda	80,0	0,192	88,0	0,224	104,0	0,216
Ephemeroptera, lv.	1568,0	0,912	1192,0	3,512	1328,0	2,184
Odonata, Zygoptera, lv.	64,0	1,608	*	*	64,0	1,208
Odonata, Anisoptera, lv.	–	–	–	–	48,0	0,832
Heteroptera, im., lv.	176,0	0,616	24,0	0,080	*	*
Coleoptera, im., lv.	312,0	0,392	248,0	0,088	1192,0	0,544
Megaloptera, lv.	–	–	–	–	48,0	1,800
Trichoptera, lv.	448,0	1,104	312,0	1,120	160,0	0,520
Chironomidae, lv.	3944,0	0,992	2240,0	1,584	3496,0	1,392
Limoniidae, lv.	80,0	0,296	24,0	0,040	–	–
Simuliidae, lv.	160,0	0,016	40,0	0,016	*	*
Ceratopogonidae, lv.	480,0	0,080	344,0	0,080	1432,0	0,328
Empididae, lv.	64,0	0,024	–	–	8,0	0,008
Tabanidae, lv.	40,0	0,096	32,0	0,264	504,0	1,760
Средняя численность, тыс. экз./м ²	10,048		6,544		14,928	
Средняя численность для всего участка, тыс. экз./м ²	10,507					
Средняя биомасса, г/м ²	18,176		16,624		37,744	
Средняя биомасса для всего участка, г/м ²	23,476					

Примечание: «*» – группа зообентоса найдена в качественной пробе; «–» – группа зообентоса не обнаружена.

По значениям биотического индекса Вудивисса воды р. Шуван на всех тех станциях относятся к классу чистых (II класс качества).

Олигохетный индекс изменяется в диапазоне от 19,76 до 36,15%. Наблюдается изменение класса качества вод от очень чистых в фоновом, чистых на участке «на 45 м ниже сброса сточных вод», до умеренно загрязненных в створе «на 143 м ниже сброса», что свидетельствует о нарастании органического загрязнения вниз по течению реки под влиянием сброса сточных вод.

При оценке степени структурированности донных сообществ с использованием индекса Шеннона получены достаточно высокие показатели индекса (2,56–2,60), свидетельствующие о сравнительно высокой структурной организованности зообентоса исследованного участка реки Шуван.

Таким образом, влияние сбросов недостаточно очищенных сточных вод на донных беспозвоночных водотока прослеживалось на участках, располо-

женных ниже сброса сточных вод. В створе «на 45 м ниже сброса» отмечено незначительное уменьшение количества таксонов, снижение численности и биомассы зообентоса до минимальных значений. На участке «на 143 м ниже сброса» наблюдается рост количественных показателей донных беспозвоночных до максимальных. Ниже сброса сточных вод происходит рост биомассы большинства групп зообентоса, за исключением клопов, болотниц и толкунчиков. По биоиндикационным показателям воды р. Шуван в фоновом створе оцениваются I-II классами качества (очень чистые – чистые); ниже сброса сточных вод – II-III классам качества (чистые – умеренно загрязненные).

Библиографический список

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 11. Средний Урал и Приуралье. Л. : Гидрометеиздат, 1973.
2. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М. : Наука, 1975. 240 с.
3. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
4. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В. А. Абакумова. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 319 с.

ПАЗИТОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧВ ГОРОДА КИРОВА

М. В. Юдинцева, О. В. Масленникова
Вятский государственный агротехнологический университет,
olgamaslen@yandex.ru

В статье представлены материалы по паразитологическому исследованию почв парков и скверов, а также детских площадок г. Кирова. Яйца гельминтов обнаружили в 59,3% проб. Количество обнаруженных возбудителей на одну пробу составило 3,9 экз. В парках и скверах города Кирова яйца гельминтов обнаружили в 72,2% проб (5,7 экз. на 1 пробу), на детских площадках в 50,0% проб (0,5 экз. на 1 пробу).

Ключевые слова: паразитологическое загрязнение, яйца гельминтов, пробы почвы, парки, детские площадки.

В парках и скверах нашего города мы часто можем наблюдать различных домашних животных, гуляющих со своими хозяевами. Кроме того, нередко в парках мы можем видеть лошадей, пони, даже верблюдов, катающих детей. В парках и на улицах города, особенно на его окраинах, встречаются и безнадзорные животные. С фекалиями многие из них могут выделять яйца гельминтов, цисты простейших. Яйца гельминтов, цисты патогенных простейших способны длительное время находиться в окружающей среде, создавая угрозу заражений. Они обнаруживаются в почве, поверхностных водоемах, питьевой воде, овощах, ягодах, предметах обихода и т. д.

Исследование почв парков и скверов позволяют определять паразитарную ситуацию, прогнозировать заболеваемость, планировать санитарные, противоэпидемические и лечебно-профилактические мероприятия и контролировать их эффективность.

Цель исследования – изучить загрязнение почвы яйцами гельминтов на примере города Кирова.

Для проведения исследований был использован метод Д. А. Долбина, М. Х. Лутфуллина, Ф. М. Соколиной [2]. Точечные пробы отбирались в соответствии с МУ 2.1.7.730 – 99 на пробной площадке. Для паразитологического анализа с каждой пробной площадки мы брали одну объединенную пробу массой 100–200 г, составленную из 10 точечных проб массой 10–20 г каждая, отобранных на глубине 10–20 см. Объединенную пробу составляли путем смешивания точечных проб, отобранных на одной пробной площадке. Пробы помещались в полиэтиленовые пакеты с указанием места отбора, даты, глубины, характера исследуемого участка (в тени или на солнце, состав почвы, наличие растительности и т. д.). Все объединенные пробы записывались в дневник и нумеровались. Паразитологический анализ проб почвы проводили в день доставки их в лабораторию [3, 4].

Объектами исследования в данной работе стали парки, скверы, детские игровые площадки города Кирова. Забор материала для проведения исследований был произведен в 23 различных точках города Кирова.

При исследовании каждой пробы почвы было приготовлено от 4 до 6 препаратов, которые тщательно просматривались под биологическим микроскопом Микромед 3 вар. 3–20 при увеличении 20x10. С помощью видеокамеры с окуляром 5,1 МРiх все обнаруженные яйца, личинки, цисты простейших фотографировались. Проводилась морфометрия обнаруженных яиц, цист простейших для более точного их определения.

Общее количество отобранных согласно методике проб почвы – 27. В результате исследования в 16 пробах нами были обнаружены яйца гельминтов, что составило 59,3%.

Полученные данные были проанализированы и упорядочены, определены виды гельминтов [1, 5]. При проведении исследования было выявлено яйца 7 видов паразитов. Количество обнаруженных возбудителей на одну пробу составило 3,9 экз. Кроме того, в ходе работы были обнаружены личинки нематод, ооцисты простейших, споры грибов.

Паразитологическая оценка проб почвы в парках города Кирова представлена в таблице 1.

Нами были исследованы 18 проб почвы из 15 парков и скверов города Кирова, в 13 из них были обнаружены яйца гельминтов. В результате этого общий процент зараженных яйцами гельминтов проб почвы в парках и скверах города Кирова составил 72,2%, общее количество обнаруженных яиц – 86 (табл. 1). «Чистыми» были пробы почвы в двух местах – на аллее СМИ вдоль Октябрьского проспекта и в Кочуровском парке. Наибольшее количество паразитарных яиц было обнаружено в парке им. Кирова – 20 шт., в парке

им. Гагарина – 17, во Владимирском сквере и сквере Борцам революции – по 10 яиц. Небольшое количество яиц (1–2) обнаружено в Сельмашевском парке, в парке у ДК Железнодорожников, Александровском саду.

Таблица 1

Количественная оценка паразитарных яиц, обнаруженных в парках и скверах города Кирова

Место взятия пробы почвы	Количество проб почвы	Количество просмотренных препаратов	Количество яиц гельминтов, экз.	Количество видов гельминтов экз.
Парк им. Кирова	3	12	20	5
Сквер им. 60-летия СССР	1	4	3	3
Парк им. Гагарина	2	8	17	5
Владимирский сквер	1	4	10	4
Ломоносовский бульвар	1	4	2	2
Парк Победы	1	4	7	3
Сквер Борцам революции	1	4	10	3
Александровский сад	1	4	2	2
Дворец творчества – Мемориал	1	4	5	3
Парк 50-летия ВЛКСМ	1	4	3	2
Сельмашевский парк	1	4	1	1
Аллея СМИ по ул. Октябрьский проспект	1	4	0	–
Парк у ДК Железнодорожников	1	4	2	1
Метропарк	1	4	4	2
Кочуровский парк	1	4	0	–
Всего	18	72	86	

Наибольшее видовое разнообразие яиц гельминтов было зарегистрировано также в парке им. Кирова и парке им. Гагарина – 5 видов; четыре вида обнаружено во Владимирском сквере, три вида яиц гельминтов найдено в сквере им. 60-летия СССР, в парке Победы, сквере Борцам революции, у дворца творчества – Мемориала. Один вид паразитарных яиц выявлен в Сельмашевском парке и в парке у ДК Железнодорожников. Количество обнаруженных возбудителей на одну пробу составило 5,7 экз.

Паразитологическая оценка проб почвы на детских площадках города Кирова представлена в таблице 2.

Нами исследовано 6 детских площадок в различных точках г. Кирова (всего взято 6 проб), в 3 из них были обнаружены паразитарные яйца. Общий процент зараженных яйцами гельминтов проб с детских площадок составил 50,0%. Яйца гельминтов обнаружены на 3 детских площадках: по ул. Горького, 25, на детской площадке по ул. Октябрьский проспект, 86 и по ул. Комсомольская, 15. Количество обнаруженных возбудителей на одну пробу составило 0,5 экз. На всех площадках обнаружено по 1 виду гельминтов.

**Количественная оценка паразитарных яиц, обнаруженных
на детских площадках города Кирова**

Место взятия пробы почвы	Количество проб почвы	Количество просмотренных препаратов	Количество яиц гельминтов, экз.	Количество видов гельминтов
Детская площадка по ул. Горького, 25	1	4	1	–
Детская площадка по ул. Октябрьский проспект, 86	1	4	1	–
Детская площадка по ул. Комсомольская, 15	1	4	1	–
Детская площадка по ул. Воровского, 44	1	4	0	0
Детская площадка по ул. Маклина, 53	1	4	0	0
Детская площадка по ул. Краснополянская, 203	1	4	0	0
Всего	6	24	3	

В 16 из 27 исследованных проб почвы (59,3%) г. Кирова обнаружены паразитарные яйца. Количество обнаруженных возбудителей на одну пробу составило 3,9 экз. Наибольшее число яиц гельминтов (5,7 экз. на 1 пробу) зарегистрировано в парках и скверах города Кирова. Каждая вторая проба песка с детских площадок (50,0%) содержала яйца возбудителей паразитарных заболеваний (0,5 экз. на 1 пробу). Выявлено 7 видов гельминтов. Эти данные свидетельствуют о значительном биологическом загрязнении почв урбанизированных территорий г. Кирова.

Библиографический список

1. Атлас. Дифференциальная диагностика гельминтозов по морфологической структуре яиц и личинок возбудителей / А. А. Черепанов, А. С. Москвин, Г. А. Котельников, В. М. Хренов / под ред. А. А. Черепанова. М. : Колос, 2001. 76 с.
2. Долбин Д. А., Лутфуллин М. Х., Соколова Ф. М. Обследования почвы на яйца гельминтов // Российский паразитологический журнал. 2014. № 2. С. 70–76.
3. Котельников Г. А. Гельминтологические исследования окружающей среды М. : Росагропромиздат, 1991. 144 с.
4. Методы санитарно-паразитологических исследований: Методические указания М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. 67 с.
5. Форейт У. Дж. Ветеринарная паразитология. Справочное руководство М. : Аквариум, 2012. 248 с.

Научное издание

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
26–27 апреля 2022 г.

Книга 2

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова
Дизайн обложки: Ю. Д. Иванова

Вятский государственный университет,
610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

Подписано к печати 22.04.2022. Формат 60 x 84/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times.

Усл. п. л. 23,5. Тираж 50 экз. Заказ 36.

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС».

610029, г. Киров, п. Ганино, ул. Северная, 49А. Тел. +7 912 828 45-11

E-mail: raduga-press@list.ru