



ISSN 2414-4738

Научный журнал

Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

ЭКОСИСТЕМЫ



Флора и фауна
Биоценология
Биология и экология
видов
Охрана природы

28 ◦ 2021

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В. И. ВЕРНАДСКОГО

ЭКОСИСТЕМЫ

2021

ВЫПУСК 28

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

V. I. VERNADSKY CRIMEAN FEDERAL UNIVERSITY

EKOSISTEMY

2021

ISSUE 28

SCIENTIFIC JOURNAL • FOUNDED IN 1979 • PUBLISHED 4 TIMES PER YEAR • SIMFEROPOL

ISSN 2414-4738

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС77-61820 от 18 мая 2015 г. Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Учредитель – ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

Печатается по решению Научно-технического совета Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, протокол №

Журнал включен в перечень ВАК по специальностям и соответствующим им отраслям науки: 03.02.01 – Ботаника (биологические науки) и 03.02.08 – Экология (по отраслям) (биологические науки)

Адрес редакции: Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, кафедра ботаники и физиологии растений и биотехнологии, пр. Академика Вернадского, 4, Симферополь, 295007
E-mail: ekotmu@list.ru

Полнотекстовые версии статей последних выпусков журнала в формате PDF и правила для авторов размещены на официальном сайте журнала по адресу: <http://ekosystems.cfuv.ru/>

Оригинал-макет: С. В. Леонов.

На обложке: Природный заповедник «Мыс Мартыян» (Крым), на переднем плане цветение крестовника цинерариевого – *Senecio cineraria* (фото С. Садогурского)

Подписано в печать _____. Формат 60×84/8. Усл. п. л. _____. Печать цифровая. Тираж 50 экз. Бесплатно

Заказ № _____. Дата выхода в свет _____

Отпечатано в управлении редакционно-издательской деятельности
ФГАОУ ВО «КФУ имени В. И. Вернадского»
295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7

Главный редактор

Иванов С. П., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Заместитель главного редактора

Котов С. Ф., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Технический редактор

Леонов С. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Редактор текстов на английском и немецком языках

Шестакова Е. С., к. п. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ответственный секретарь

Петришина Н. Н., к. б. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Контент-менеджер сайта

Николенко В. В., к. б. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Члены редакционной коллегии

Багрикова Н. А., д. б. н., Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Бескаравайный М. М., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Будашкин Ю. И., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Воронин Л. В., д. б. н., доцент, Ярославский государственный педагогический университет имени К. Д. Ушинского

Довгаль И. В., д. б. н., профессор, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Егоров В. Н., д. б. н., профессор, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Ена А. В., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ермаков Н. Б., д. б. н., Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Захаренко Г. С., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ивашов А. В., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Коба В. П., д. б. н., профессор, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Корженевский В. В., д. б. н., профессор, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Мацюра А. В., д. б. н., профессор, Алтайский государственный университет

Назаров В. В., к. б. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Оберемок В. В., д. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Омельченко А. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Пешич В., доктор наук, профессор, Университет Черногории (University of Montenegro), Черногория

Плугатарь Ю. В., д. с.-х. н., чл.-корр. РАН, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Репецкая А. И., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Свольнский А. Д., к. б. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Фатерыга А. В., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Чатгерджи Т., доктор наук (зоологии), Международная школа Хесент (Crescent), Индия

Чуян Е. Н., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

УДК 502.173:[622.868.45:69.034]

Влияние затопления территорий при строительстве водохранилищ на сохранность их биологических ресурсов

Просеков А. Ю.

*Кемеровский государственный университет
Кемерово, Россия
aprosekov@rambler.ru*

Для соразмеренного снабжения водными ресурсами в России проводится обширная программа гидроэнергетического строительства. Эта тема является актуальной. Проблема затопления территорий в России была особенно злободневной в XX веке в эпоху масштабной мелиорации, строительства огромных водохранилищ и мощных гидроэлектростанций на большинстве больших рек нашей страны. Вопреки тому, что плотины сыграли важную роль, способствуя экономическому росту, их строительство и эксплуатация имели серьезные последствия. Эта проблема остаётся актуальной и в начале XXI века в связи с проведением не всегда продуманной застройкой речных пойм. Водные ресурсы являются важнейшим фактором и в жизни человека, и в природе. Сооружение водохранилищ по своим масштабам воздействия на природу является одним из наиболее крупных проявлений техногенеза, и оценка этого воздействия неоднозначна. С одной стороны, возведение водохранилищ, как правило, всегда экономически обосновано, с другой стороны, нарушается гидрологический режим рек, происходят изменения ландшафта речных долин, деградация почв и гибель наземной растительности на затопляемых территориях; изменение уровня грунтовых вод, изменение режима речных систем, изменения климата. Очень часто это сопровождается ухудшением общего санитарно-гигиенического состояния прилегающих территорий, изменениями количества пресной воды и, как следствие, гибелью рыбы. В последние годы особое внимание уделяется контролю и улучшению природно-технического состояния и благоустройства некоторых крупных водохранилищ. Предусматриваются природоохранные мероприятия, направленные на сохранение водных, земельных, рекреационных и биологических ресурсов. Проводятся работы по сохранению водных ресурсов от их истощения и загрязнения. Для природоохранных мероприятий важным фактором является режим эксплуатации ГЭС и водохранилищ. Необходимы комплексная оценка и прогнозирование состояния особенностей природной зоны, инженерная подготовка, предусмотренный комплекс оптимальных профилактических мероприятий в зоне строительства водохранилища, чтобы минимизировать отрицательные последствия его строительства. Таким образом, данный вопрос требует серьезного изучения и планирования еще на стадии проекта.

Ключевые слова: водохранилище, территория затопления, экосистема, биоценоз, природные ресурсы.

ВВЕДЕНИЕ

Сооружение водохранилища неизбежно влечет за собой серьезные изменения: нарушается ландшафт, изменяется микроклимат, взаимосвязи поверхностных и подземных вод, биоты и почв. При подтоплении территории уровень грунтовых вод может подняться на 0,5–2,5 м. В связи с формированием берегов изменяется местный климат, и помимо этого, если территория сложена водопроницаемыми породами, и режим почвенно-грунтовых вод: капиллярная влага заполняет значительную часть пор, в результате чего увеличивается влажность почв до 70–100 %. При этом значительно понижается аэрация почв, что способствует их дальнейшему заболачиванию, а это является опасным явлением, так как способствует всплыванию торфяных залежей (Калецкая, 1957).

Кроме этого, строительство водохранилищ еще до их заполнения оказывает влияние на животный мир. Так, при сводке леса и очистке ложа водохранилища животные лишаются кормовой базы и прежних мест обитания, а переформирование берегов приводит к уничтожению местообитания выдры, норки, бобра, ондатры, ласточек береговушек, зимородков, многих водоплавающих и водно-болотных птиц, амфибий, огромного числа беспозвоночных животных, а также изменяются пути миграций перелетных птиц.

Исследования показывают, что с сооружением водохранилища сезонные ритмы животного мира подчинены колебаниям его уровня (Калецкая, 1957). В результате создания искусственных водоемов нарушаются функциональные связи речных биоценозов, что

приводит к массовому развитию «цветения» отдельных видов микроводорослей, следствием чего является нежелательная трансформация экосистем и ухудшение качества воды (Корпачев, 2015).

Ученые отмечают, водохранилище способствует превращению текущей реки в стоячие, полусточные озера-пруды, что ведет к ослабленному стоку воды в системе «озеро-водоем», а также опасному засолению.

В промышленных и сельскохозяйственных районах увеличивается загрязнение воды, накопление тяжёлых металлов в донных отложениях, что связано с поступлением городских и промышленных стоков, смывов удобрений и пестицидов, сбросных вод животноводческих комплексов.

Выявлено негативное влияние строительства водохранилищ на почвенный покров: затопление лесных массивов, лугов; заболачивание и подтопление берегов; загрязнение воды (химическое и физическое); всплывание на заболоченных территориях торфяных залежей (Корпачев, Пережилин, 2008).

Таким образом, при строительстве водохранилищ очень важно тщательное изучение природных условий территории, организация комплексных мероприятий по оценке природных особенностей и почв затопляемых земель.

Цель данной работы – анализ возможных рисков при строительстве водохранилищ, детальное изучение негативного влияния строительства, его прогнозирование и возможность минимизации последствий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Рассматриваются эколого-технологические проблемы, связанные с организацией строительства ГЭС и дальнейшей эксплуатацией гидросооружений. К числу первичных проблем относятся: перемещение огромного количества грунта; необходимость организации сооружений защиты от затопления населения близлежащих территорий; переселение людей из зоны затопления; восстановление сельскохозяйственных угодий (взамен затопленных); проведение очистительных мероприятий на затопленных территориях; изменения видового состава и численности рыб.

Вторичные проблемы, такие как ухудшение качества воды, изменение береговой полосы, эрозия почвы, увеличение потери воды испарением, изменения флоры и фауны, наличие затопленной и плавающей древесины, загрязнение органическими веществами (Корпачев, Пережилин, 2008).

В связи с вышеизложенным, необходимо отметить следующие негативные последствия строительства и дальнейшей эксплуатации гидроэлектростанций: использование земель под водохранилище; ухудшение мелиоративного состояния земель; подтопление и затопление прибрежных территорий; ухудшение санитарного состояния воды в реке; повышение влажности на прилегающей территории, увеличение продолжительности туманов; нарушение нормальных условий нерестилищ рыб; затопление лесопокрываемых зон, деградация ландшафтов; нарушение нормальных условий лесосплава (там где он разрешён); угроза провокаций колебаний земной коры; изменение условий судоходства; снижение прочности гидросооружений с течением времени; возрастание опасности аварий; разрыв социальных связей из-за переселения людей (Shchedrin et al., 2021).

Строительство водохранилищ в Сибири на территориях, покрытых лесом, имеет свои особенности. Так подготовка ложа водохранилища заключается, в первую очередь, в сводке кустарниковой и древесной растительности, в соответствии с требованиями (СанПиН 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ»). Такая «подготовка» лож водохранилищ под затопление требует больших финансовых расходов. Поскольку главным объектом всегда является строительство гидроэлектростанции, а не комплекса ГЭС и водохранилища, то лесочистке лож водохранилищ не уделялось достаточного внимания. Поэтому в разные годы затопляли без лесочистки от 35 до 67 % площадей (Угрюмова, Шилинко, 2009).

На основе изучения данных по строительству гидроэлектростанций в Сибири сделан вывод: ни одно водохранилище не было построено в полном соответствии с СанПиНом по подготовке ложа для затопления.

При подготовке площади лож водохранилищ лесосводка и лесочистка проводилась не в полном объеме, это приводило к затоплению большого объема леса. Проекты по строительству гидроузлов на покрытой лесом территории должны осуществляться без учета прибыли от продажи древесины. К тому же выявлено, что мероприятия по лесосводке и лесочистке территории для подготовки ложа водохранилища под затопление всегда убыточны.

Одним из существенных последствий изменения гидрологического режима речных систем Западной Сибири при строительстве водохранилищ является снижение скорости водообмена, что влечет за собой изменения гидрохимических, гидрофизических и гидробиологических процессов в реках (Корпачев, 2015).

Негативными последствиями строительства и дальнейшей эксплуатации крупных сибирских гидроузлов являются также: изменение термического режима, что влечет за собой образование незамерзающей полыни в нижнем бьефе. Это приводит к активному испарению и увеличению туманных явлений; нарушению транспортных связей по льду реки в зимний период; изменению количественного и видового состава организмов рек. Также неблагоприятное воздействие из-за понижения температуры воды сказывается в летнее время на условия отдыха людей, проживающих на прилегающей территории.

Во многих водохранилищах Сибири фиксируется ухудшение качества воды из-за плохой подготовки ложа и снижения процессов самоочищения вследствие сброса в них неочищенных сточных вод. Также, из-за усиливающегося хозяйственного и рекреационного освоения берегов и отсутствия необходимого количества водоохраных мероприятий, качество воды сибирских водохранилищ постоянно снижается. Еще одной причиной этого являются сероводородные зоны, возникающие при затоплении большого массива леса в ложе водохранилищ (Савкин, 2000).

Современный подход к созданию новых водохранилищ и к эксплуатации действующих должен основываться на строгих критериях, касающихся оценки воздействия этих объектов на экологические и социально-экономические условия пойменных территорий (Лебедева, 2019).

Помимо этого, следует учитывать возникающие проблемы экологии при эксплуатации и ликвидации малых водохранилищ, их безопасности, связанные с предполагаемыми аварийными ситуациями (Максимович, 2012).

Водоохранилища создаются как в развитых, так и в развивающихся странах. Важнейшими социально-экономическими факторами, определяющими необходимость строительства водохранилищ, является водоснабжение промышленных районов и предприятий, населенных пунктов, ТЭЦ; регулирование стока рек для орошения и обводнения территорий с дефицитом воды; уменьшение и предотвращение наводнений в долинах рек; более полное использование водных ресурсов в качестве транспортных магистралей; организация зон отдыха на прибрежных территориях.

Влияние водохранилищ на реки проявляется по всему их течению, в том числе на прилегающие к берегам территории. Крупные водохранилища заметно изменяют гидрологический режим реки, и как следствие, многие другие природные процессы. В разных природных и экономических зонах это происходит по-разному. Определяющим влиянием являются размеры водохранилища, его форма и состав пород дна и берега, режим эксплуатации и погодные условия данного района. Помимо этого, для водохранилищ свойственен особый гидрохимический и гидробиологический режим, больше напоминающий озерный, чем речной. Из-за затопления химический состав воды водохранилищ со временем меняется, пополняется азотом, железом, фосфором и органическими веществами. Также эти элементы попадают с речным стоком с водосборной площади, из подземного стока реки и из размытых берегов. Высокое содержание биогенных веществ в воде, в затопленных почвах и растениях способствует активному развитию животных и растительных организмов, в

частности, впервые годы эксплуатации водохранилищ. Вследствие малой скорости течения воды в водохранилищах происходит осаждение большого количества биогенных материалов, что приводит к сильному обогащению воды органическими веществами.

Также водохранилища влияют на изменение климатических условий прилегающих территорий. Это имеет большое значение для жизни населения и предприятий наряду с повышением уровня грунтовых вод, изменением рельефа берегов. В результате этих процессов происходит изменение растительно-почвенного покрова, фауны и санитарно-гигиенических условий.

Вышеизложенное подчеркивает необходимость всестороннего изучения и анализа всех возможных последствий на стадии проектирования водохранилищ. Очень важно проведение целого ряда комплексных мероприятий на стадии подготовки водохранилища с учетом схем районных планировок: переселение жителей, вынос строений и сооружений; организация инженерной защиты важных объектов; санитарная подготовка ложа и тому подобное. Особое внимание необходимо уделять сохранению экологического равновесия, качеству воды и уменьшению площади затопления ценных земель (Avakyan, 1991).

Влияние прудов и малых водохранилищ на окружающую среду может быть прямым или косвенным, благотворным или вредным, а также непосредственным или длительным после сооружения водохранилищ и прудов. Оно также зависит от климатических колебаний, которые могут ослабить или усилить воздействие прудов и водохранилищ на микроклиматические, гидрологические и гидрогеологические и другие процессы. Сооружения прудов и водохранилищ приводят к изменению почвенного и растительного покрова береговой зоны: в зоне периодического затопления формируются торфяные, иловые и болотные почвы; в зоне умеренного подтопления происходит процесс олуговения подзолистой почвы; в зоне слабого подтопления увеличивается подвижность железа и гумусовых веществ, происходит оглиение почвы. Следует подчеркнуть, что опасными геоэкологическими процессами прудов и водохранилищ являются засорение и загрязнение (сельскохозяйственные стоки, коммунально-бытовые, бактериологические, автотранспортные и тепловое воздействие) (Орлова, Досаева, 2017).

Водоохранилища имеют сложную систему функционирования, и аналога ей в природе нет. При строительстве плотин, водохранилищ возникают изменения на внутренних водоемах, объектах гидротехнического строительства. При сооружении водохранилищ больше внимания уделяется строительству гидроэлектростанций, но подготовка лож под затопление (лесоочистка и лесосводка) проходит не в полном объеме. Поэтому гидроузлы, построенные на лесопокрываемых территориях, аккумулируют плавающую, затопленную древесную массу, а также органические вещества лесной подстилки, дернины и другие. Органические вещества как водохранилища, так и поступающие из внешних источников влияют на качество воды.

Для водохранилищ севера Сибири (в первые годы образования) присущ дефицит кислорода, присутствие сероводорода в придонных слоях, а также уменьшение прозрачности и увеличение цветности. Таким образом, с сооружением гидроэлектростанций и водохранилищ, возникают загрязняющие вещества водоемов: гниющий затопленный лес, (выделяет фенолы, лигнин, смолы и др.) (Калецкая, 1957; Авакян, 1973). Это неизбежно сказывается на видовом составе рыб. Происходит исчезновение или резкое сокращение численности наиболее ценных в рыбохозяйственном отношении представителей сиговых и лососёвых рыб, требующих чистой воды, богатой кислородом, на менее требовательных и малоценных карповых.

На искусственное регулирование стока оказывают влияние помимо особенностей водного баланса три периода изменения уровня водохранилища в годовом цикле (зимний, весенний, летне-осенний). Основными экологическими рисками этих периодов являются:

- в период весеннего подъема уровня воды происходит быстрое затопление значительных площадей, размыв поверхностного грунтового слоя и уничтожение большей части прошлогодних надводных растительных сообществ;

- в период начальной обработки водохранилища и снижения уровня воды в конце лета – начале осени происходит зарастание осушенной зоны наземной растительностью и формирование пустошей;

- в период дальнейшей зимней сработки уровня – начинается промерзание обсохших грунтов на значительную глубину, приводящее к почти полному вымерзанию зимующих гидробионтов, а также возникновение заморных явлений.

При этом экологически важным фактором является не только величина площади затопляемых и осушаемых мелководий, но и время начала и конца осушения или затопления, а также общая продолжительность того или иного периода. Значительная амплитуда колебаний этих факторов и их случайный характер оказывают стрессовое воздействие на биоценозы береговой зоны водохранилища» (Авакян, 1973; Бульон, 1983).

В странах Европы наводнения являются одним из негативных факторов (в основном из-за осадков, превышающих норму). В таких случаях территории, сдерживающие наводнения, выполняют важную роль регулирования экологического баланса и водной фауны, а также оказывает положительное влияние на сохранение сельскохозяйственных (заливных) площадей, обеспечивая накопление подземных вод. Анализируя защитные мероприятия в Европе, можно отметить, что важно учитывать такие риски, как разрушение плотин, превышение расчетного уровня воды и др. В 1953 году в Нидерландах произошло крупное наводнение, при котором большая часть страны оказалась под водой, и правительство страны приняло решение об обеспечении защиты от наводнений с вероятностью затопления один раз в 1250 лет (Титков, 2013).

В США защиту от наводнений возложили на инженерный корпус армии (уровень стандартного обеспечения защиты от наводнений должен быть с вероятностью один раз в 230 лет), но наводнение в Новом Орлеане показало его недостаточность. Нужно отметить, в США и Нидерландах велика опасность затопления морем. Большинство стран защиту от наводнений населения обеспечивает расчётом максимального уровня подъёма воды один раз в 100 лет.

Таким образом, из выше сказанного можно сделать вывод: в некоторых случаях при аномальных явлениях погоды такой защиты недостаточно (Титков, 2013).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 1960–1970-х годах в бассейне реки Томи сложилась негативная водно-экологическая обстановка, и выходом из этой ситуации виделось создание Крапивинского водохранилища, компенсирующего неравномерность распределения стока реки в течение года и увеличение расхода воды в русле Томи. Предполагалось, что расходы реки (при создании Крапивинского водохранилища) с обеспеченностью 50 % должны увеличиться в 5 раз, а 95 % обеспеченности в 10 раз, таким образом, расходы воды возрастут с 50 до 500 м³/с. Максимальные расходы воды в Томи снизятся в 1,5 раза. Для внутригодового распределения будет характерно уменьшение на 20–40 % весеннего половодья, на 20–25 % прогнозируется увеличение зимней межени и на 12–15 % летне-осенней (Васильев, 1987; Валиулин, 2004; Васильев и др., 2016; Волкова, 2020).

При строительстве Крапивинского водохранилища необходимо было также учитывать негативные факторы: влияние на микроклимат верхнего и нижнего бьефа, взаимодействие зимней полыньи с окружающей территорией, опасность ртутного загрязнения водохранилища, вынос различного рода загрязняющих веществ в водохранилище, изменение береговой зоны и подтопление.

Строительство Крапивинской гидроэлектростанции обсуждается на страницах печати не одно десятилетие.

Проблема возобновления строительства Крапивинского гидроузла рассматривалась неоднократно. Начало строительства ГЭС – 1977 год, именно тогда было принято решение о сооружении гидроузла. Для проживания строителей возвели посёлок Зеленогорский. В 1989 году из-за прекращения государственного финансирования и шахтерских волнений стройка

была законсервирована (на тот момент выполнено около 60 % работ от запланированного) (Егоров, 2005; Раткович, 2017).

В ноябре 2018 года в своих выступлениях губернатор Кемеровской области С. Е. Цивилев отмечал, что «недостроев» в Кузбассе не должно быть, в том числе и недостроенного гидроузла на Томи». Анализируя сложившуюся ситуацию, региональные власти совместно с компанией «РусГидро» сделали вывод, что строительство гидроузла более выгодно, чем демонтаж возведенных конструкций.

Завершение строительства гидроузла имеет много противоречивых мнений, как положительных, так и отрицательных. По мнению губернатора Кузбасса С. Е. Цивилева к положительным факторам завершения строительства относятся: контроль паводков и улучшение водоснабжения городов. С позиции специалистов «РусГидро» введение в эксплуатацию ГЭС позволит уменьшить количество опасных выбросов от разных станций, которые генерируют электроэнергию. Бывший глава Крапивинского района Тахир Биккулов и местное население отмечали положительное влияние строительства гидроузла на развитие транспортной инфраструктуры, организацию туризма, а также создание новых рабочих мест. Согласно мнению ученых Барнаульского института водных проблем и экологии СОРАН строительство Крапивинского водохранилища предотвратит дефицит питьевой воды в Кемеровской области и улучшит экологическое состояние рек Томи и Оби.

Тем не менее, говоря о проблемах завершения строительства гидроузла, ряд ученых отмечает негативные стороны. В частности, доктор технических наук, профессор Витаутас Сенкас считает, что в результате завершения строительства гидроузла негативных последствий будет больше, чем положительных. Автор сообщает о необходимости вновь расчистить русло водохранилища (заросшее за 30 лет); пересмотреть места захоронений, учитывать наличие зоны тектонических нарушений и прочие условия.

На отрицательные стороны также указывает доктор биологических наук, профессор А. Н. Куприянов. Прежде всего необходимо создать очистные сооружения на промышленных предприятиях города Новокузнецк для того, чтобы избежать накопления отходов в донных отложениях водохранилища, так как это явление затронет не только жителей Кузбасса, но и Томской области. Также негативно повлияет на экологию в регионе затопление территории и вырубка леса. По мнению автора, строительство ГЭС является невыгодным с экономической точки зрения. По его словам, «Томь в районе ГЭС поднимается всего на 18 м, этого недостаточно для выработки большого количества энергии».

Кроме этого, строительство Крапивинского водохранилища влияет на расположение автомобильных дорог (грунтовые дороги, дороги лесозаготовительных предприятий), а также дороги теряют значимость при выносе населенных пунктов из зоны затопления (Голик и др., 2020).

В то же время при строительстве Крапивинского гидроузла предполагается выявление тенденции, направленной на развитие рекреационного потенциала ландшафта. Сочетание «лес-водоем» особенно перспективно для развития разнообразных форм отдыха и туризма. Использование территории водоохранной зон и форм хозяйственной деятельности в прибрежных лесах должно проводиться без ущерба (Калецкая, 1957; Егоров, 2005; Казьмин, 2011; Карманова, 2017).

Возрастание антропогенной нагрузки при анализе экономической и экологической ситуации показало резкое ухудшение качества воды в бассейне реки Томь (Казьмин, 2011). Оценивая влияние антропогенных и других факторов на объем и качество водных ресурсов, в 1975 году было принято решение о сооружении Крапивинского гидроузла. Однако, в связи с тем, что против строительства выступали некоторые учёные, писатели, журналисты, экологические активисты, которых поддерживала значительная часть общества, по мнению которых, строительство водохранилища приведет к пагубным материальным, экологическим и моральным последствиям, а также на основании официального акта экологической экспертизы в 1989 году строительство гидроузла было остановлено.

В 1996–2001 годах была проведена оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод бассейна реки Томь. Результаты исследования показали, что возобновление и завершение

строительства водохранилища может значительно улучшить решение экономических, социальных и экологических проблем (улучшение водных ресурсов Томи, защита промышленных сооружений и жилищ и так далее).

Предполагается, что строительство водохранилища предоставит возможность развития орошаемого земледелия в бассейнах рек Ини и Томи, а также улучшит энергетический баланс Кемеровской области. Одной из проблем, является загрязнение воды реки Томь, в которую поступают недостаточно очищенные стоки от южного промузла Кузбасса, где проживает более 1 млн. человек и сосредоточена большая часть промышленных и угледобывающих предприятий. Однако разработчиками проекта предполагалась высокая разбавляющая и самоочищающая способности водохранилища. Вода, поступающая из водохранилища в нижний бьеф, должна вполне соответствовать санитарным нормам, основные загрязнители должны быть ниже ПДК (предельно допустимая концентрация). Из этого следует, что вода может использоваться для разбавления загрязнений, поступающих в Томь ниже гидроузла.

Сооружение гидроузла окажет положительное влияние на близлежащий Крапивинский район, в котором предполагается разработка полезных ископаемых (угли: коксующиеся и энергетические). Также в зоне затопления обнаружено 16 торфяных месторождений, 12 заболоченных местностей общая площадь составляет 7369 га, это почти 11 % площади водохранилища. Всплывание торфа предполагается на 7 месторождениях (сплавинные и зыбунные участки; залежи среднеразложившегося и слаборазложившегося торфа). Всплывать на поверхность может 336,4 га торфяных островов. Этот процесс будет происходить в мае-сентябре, так как вода водохранилища превышает 8 °С, но основное всплытие происходит при температуре воды выше 17 °С (Карманова, 2017).

На основании вышеизложенного при строительстве водохранилища необходимо учитывать детальные исследования и разработки бассейновой схемы реки Томь, а также принять всевозможные организационные и иные меры по региональному водопользованию, многолетнего регулирования стока, расчет экономии затрат в процессе производства электроэнергии. В соответствии с этим, Крапивинская ГЭС включена в проект программы развития гидроэнергетики России до 2030 года.

И всё же многие проведенные исследования дают неоднозначную оценку возобновления строительства данного объекта, связанную с её негативным влиянием.

Влияние техногенного загрязнения и оценка береговой зоны позволяют сделать выводы о том, что структура стока изменяется в различные фазы режима (времена года). Чем резче выражены внутригодовые колебания водности водохранилища, тем более изменчив химический состав воды. Подземным питанием водохранилища и его притоков являются грунтовые воды, а также стабильным источником питания водоема в период маловодья подземный сток.

На дне Крапивинского водохранилища будет оседать большая часть твердого стока, которая попадает с водосборного бассейна. Донные отложения оказывают влияние на физические, химические, биологические процессы затопленного грунта и воды водохранилища. Заполненное до нормального подпорного уровня (НПУ) водохранилище затапливает пойму, затем, надпойменные террасы. В результате поверхность под водой начинает накапливать различные наносы (глинистые и органические илы, пески илистые).

Одним из факторов, влияющих на экологическое состояние водохранилища, является рельеф. Он воздействует на скорость и направление водного течения, переносящего загрязняющие вещества и различные накопления. В целом, дно Томи в её среднем течении выровнено и резкие перепады отсутствуют. Наблюдаются отдельные впадины (максимальная глубина дна до 11,6 м в зоне платины и до 12,2 м севернее спасательной станции). При низкой скорости течения, они фактически являются главным местом накопления загрязняющих веществ.

Для снижения влияния ветровых волн на изменения береговой линии водохранилища, формирование береговой отмели и мелководных участков необходим-ежегодный контроль измерения сдвига границы берега, что позволит разработать комплекс инженерных

мероприятий по укреплению берега (каменная наброска, лесопосадки и другие) (Калецкая, 1957).

Важнейшей задачей при рассмотрении вопросов строительства водохранилищ является установление экономической выгоды от использования территорий. Это должно быть сделано путем анализа всех факторов, действующих на повышение или снижение сельскохозяйственного производства, расчет экономии затрат в процессе производства электроэнергии и транспортировки грузов и так далее. При этом необходимо учитывать, что водоемы, в первую очередь, являются источником водоснабжения сельскохозяйственных, коммунальных, промышленных предприятий и других объектов (Avakyan, 1991).

Негативное отношение к ряду существующих водохранилищ связано с тем, что при их планировании, проектировании, строительстве и эксплуатации многие факторы по тем или иным причинам не были учтены (незнание, предварительные работы недостаточного объема и глубины, невыполнение ряда необходимых мероприятий, плохо продуманные режимы эксплуатации и т. д.). Эти факторы наряду с практикой следовать сложившимся тенденциям, и элементарной некомпетентностью привели к появлению многих предложений о снижении и осушении действующих в настоящее время резервуаров (Оксиюк, 1993; Новиков, 2003; Корпачев, 2008; Максимович, 2012; Корпачев, 2015; Орлова, 2017; Коронкевич и др., 2019; Лебедева, 2019).

Предпринимается попытка обосновать предлагаемое осушение водохранилищ ссылками на зарубежный опыт. В поддержку осушения водохранилищ выдвигаются следующие причины: во-первых, тот факт, что водохранилища затопляют и заболачивают огромные земельные площади, часто самые плодородные, и, тем самым, наносят ущерб возможному расширению сельского хозяйства; во-вторых, водохранилища вызывают резкое ухудшение качества воды в речных бассейнах, и восстановить его можно только путем его осушения; в-третьих, водохранилища нанесли неизмеримый ущерб окружающей среде и пагубно отразились на социальных условиях населения (Раткович, 2017).

Однако при этом территория, затопленная водохранилищами, продолжает участвовать в расширенном производстве, но как компонент другой производственной системы.

Существует концепция устойчивого развития, как одна из самых современных, наиболее поддерживаемых мировым сообществом систем взглядов на взаимодействия общества и природы. В ней мелиорация показана как свод основополагающих правил в области использования природных ресурсов (в первую очередь, в засушливых и переувлажнённых регионах), полностью отвечающая принципам устойчивого развития и входящая в число приоритетных задач развития государств-членов Евразийского экономического союза. Основное внимание в этом вопросе уделяется вопросам институционального обоснования дальнейшего развития мелиоративного комплекса; анализируются факторы, сдерживающие инновационное обновление. Показаны пути использования механизма государственно-частного партнерства и потенциал сельскохозяйственной кооперации в освоении мелиорированных земель. Также обосновано использование микрогидроэлектростанций на деривационных оросительных системах предгорных территорий юга России и предложены технологические решения по использованию микрогидроэлектростанций на водозаборах, донных водозаборах, концевых сбросах, оросительных машинах.

Отмечена общественная значимость изучаемой проблемы, поскольку мелиорация – это не только рынок труда, но и жизненно важная среда обитания (Раткович, 2017).

Из выше изложенного обзора мирового опыта строительства и эксплуатации водохранилищ следует, что исследования водохранилищ как компонента окружающей среды должны быть направлены на расширение фундаментальных исследований с целью создания теории формирования экосистемы водохранилища и качество воды, разработки подхода к многоцелевому использованию и установление роли водохранилищ в производстве водных и засушливых экосистем, а также формировании и динамике окружающей среды в целом и среды обитания человека (Baxter, 1985; Avakyan, 1991; Ai, Ran, 2007).

На объем и качество водных ресурсов оказывает влияние и комплекс антропогенных факторов. Основные подходы к решению водных проблем: очистка сточных вод,

предотвращение сброса недостаточно очищенных вод в реки и водохранилища, проведение мониторинга и прогнозирования состояния водных ресурсов под воздействием климатических и антропогенных факторов (Савкин, 2000).

В настоящее время многие крупные реки разделены плотинами, которые играют важную роль в борьбе с паводками, в ирригации, производстве электроэнергии и в стабилизации работы электроэнергетической системы в целом (Раткович и др., 1994). Тем не менее, помимо ряда очевидных выгод, строительство плотин может угрожать речным экосистемам, например, изменением гидравлических условий, эвтрофикацией, блокировкой путей миграции рыб и сокращением видового разнообразия. Кроме того, строительство дамб может изменить температуру воды в бассейне, а это также негативно отражается на речных экосистемах (Титков, 2013).

Кроме того, несмотря на проводимые ремонтные работы, большое количество водохранилищ имеет проблему с потерями воды на участке плотины, а также с потерями из водохранилища в другие водоносные горизонты из-за нарушения естественного состояния карста. В сильно закарстованной местности водохранилища ведут себя не прогнозируемо – некоторые из них могут быть заполнены лишь частично, а некоторые высыхают из-за повышенной утечки. Однако риски могут быть значительно снижены за счет улучшения методов исследования с использованием региональных гидрогеологических, тектонических, спелиогенетических и других подходов, которые часто игнорируются или недостаточно используются на этапах планирования проекта и проведения полевых исследований.

Чтобы успешно бороться с карстом, необходимы инновации, инженерная практика, осуществимость исполнения и коммерческое понимание. В случае больших карстовых каналов одной только заливки раствора явно недостаточно. Специальная обработка больших каверн и гибкость во время выполнения цементной завесы, включая модификации и приспособления на основе геологических данных, должны быть стандартной процедурой для строительства плотины в карстовых условиях, чтобы минимизировать риск. Такой подход является основным мировым правилом в борьбе с утечками с участков плотин и устоев водохранилищ (Milanović, 2011).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сооружение водохранилищ способствуют решению ряда экономических и социальных проблем, но имеет немало последствий, пагубных для окружающей среды. Так первоначальное заполнение неизбежно вызывает физические и химические изменения, которые по-разному, но чаще негативно влияют на водную биоту. Сложные гидродинамические характеристики многих резервуаров еще больше усложняют ситуацию. Происходит уничтожение пойменных природных экосистем и хозяйственно ценных угодий на попадающих под затопление речных террасах с плодородными почвами.

Серьезные последствия могут возникать ниже плотины иногда на сотни километров. Это связано с действием водохранилища как источника или поглотителя тепла, отложений и растворенных веществ, а также с изменениями суточной или годовой схемы паводкового затопления. Движение проходных рыб может быть затруднено или заблокировано, их нерестилища недоступны или уничтожены.

Большие водохранилища изменяют климат в своих окрестностях и ниже по течению. Они могут вызывать сейсмическую активность при определенных геофизических условиях, которые еще не полностью изучены.

Процесс сооружения водохранилищ также способствует распространению одних болезней и уменьшению заболеваемости другими, что может вызывать серьезные нарушения в социальной и экономической жизни людей (Milanović, 2011; Milanović, Vasić, 2021).

Несмотря на значительный прогресс в прогнозировании воздействия плотин и водохранилищ на окружающую среду, все еще невозможно с уверенностью предсказать все последствия, особенно при реализации очень крупных проектов.

Так, при исследовании территорий для определения подходящего места под строительство плотины, дается оценка для определения размера будущей плотины. Далее имея выбор участков плотин и водохранилищ различного размера, гидролог или аналитик должны оценить водоотдачу с каждого участка, а также величину и частоту экстремальных паводков и малых потоков (Imge et al., 2002).

Эта информация облегчит выбор подходящего участка для удовлетворения потребностей региона в воде, а также предоставит критерии потока для проектирования отводящих сооружений и оценку компенсационных попусков воды, необходимых для условий низкого расхода.

Кроме того, там, где в речной системе (сети) уже существуют другие водохранилища, требуется оценка воздействия нового водохранилища на приток и отток этих существующих водохранилищ. Во всех этих исследованиях решающую роль неизменно играет наука гидрология.

Список литературы

- Авакян А. Б. Водоохранилища, их влияние на природу и хозяйство, принципы создания // Некоторые проблемы эксплуатации водных ресурсов СССР. – 1973. – № 11. – С. 42–51.
- Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. – Л.: Наука, 1983. – 150 с.
- Валиулин В. И вновь о Крапивинском водохранилище. Среда выживания // Кузнецкий рабочий (г. Новокузнецк). – 2004. – 23 ноября (№ 139). – С. 7–8.
- Васильев Ю. С., Масликов В. И., Шилин М. Б. Режим регулирования стока рыбинского водохранилища как основной фактор формирования экологической ситуации в осушной зоне // Ученые записки российского государственного гидрометеорологического университета. – 2016. – № 42. – С. 28–42.
- Васильев Ю. С., Ролле Н. И. Процессы в водохранилищах при поступлении биогенных и загрязняющих веществ. – Текст непосредственный // Гидротехническое строительство. – 1987. – № 10. – С. 19–21.
- Волкова Е. Разольется Кузбасское Море. Власти планируют достроить Крапивинскую ГЭС // Ежедневник «Аргументы и факты» АиФ в Кузбассе. – 2020. – № 47 (18/19). – С. 1.
- Голик А. С., Попов В. Б., Кинзаков В. В., Колосов М. Ю. Исследование экологической экосистемы водохранилища у горы зеленая п.г.т. Шерегеш Кузбасса // Вестник МАНЭБ. – 2020. – 25 (4). – С. 47–59.
- Егоров, А. Г. Прогнозная оценка рекреационной устойчивости фитоценозов береговой полосы водохранилища Крапивинского гидроузла // Флора и растительность антропогенно нарушенных территорий. – Кемерово, 2005. – Вып. 1. – С. 40–46.
- Казьмин С. П., Климов О. В., Матвеева Ю. В. Геоэкологическое состояние береговой зоны и акватории Беловского водохранилища. // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: География. Геоэкология. – 2011. – № 2. – С. 139–147.
- Калецкая М. Л. Роль режима Рыбинского водохранилища в жизни млекопитающих // Труды Дарвинского государственного заповедника. – Вологда, 1957. – Вып. 4. – С. 18–23.
- Карманова А. В. Крапивинское водохранилище и его роль в решении проблемы водопользования и природообустройства // Творчество юных – шаг в успешное будущее: труды X Всероссийской науч. молодежной конф. с международным участием с элементами научной школы имени профессора М. К. Коровина по теме: «Арктика и ее освоение» – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2017. – С. 64–67.
- Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А., Гергиади А., Долгов С. В., Зайцева И. С., Катушина Е.А. Оценка антропогенного воздействия на водные ресурсы России // Вестник Российской академии наук. – 2019. – Т. 89 (№ 3). – С. 603–614.
- Корпачев В. П., Пережилин А. И., Андрияс А. А. Водоохранилища ГЭС Сибири. Проблемы проектирования, создания и эксплуатации. – Красноярск: СибГТУ, 2015. – 209 с.
- Корпачев В. П., Пережилин А. И. Особенности проектирования подготовки под затопление ложа водохранилищ ГЭС Сибири. // Природообустройство. – 2008. – № 3. – С. 59–63.
- Лебедева И. П. Значение водохранилищ в комплексном управлении наводнениями в начале 21 века // Природообустройство. – 2019. – № 1. – С. 19–26.
- Максимович Н. Г., Пьянков С. В. Малые водохранилища: экология и безопасность. – Пермь: Раритет-Пермь, 2012. – 253 с.
- Новиков Ю. В. Экология, окружающая среда и человек. – М.: Издательско-торговый дом «ГРАНД», 2003. – 551 с.
- Оксинок О. И., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29, вып. 4. – С. 62–76.
- Орлова С. С., Досаева З. З. Анализ влияния строительства прудов и малых водохранилищ на окружающую среду // Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: Материалы V Международной научно-практической конференции Инновационные технологии в строительстве,

теплогазоснабжении и энергообеспечении (Саратов, 23-24 марта 2017 г.). – Саратов: ООО «Амирит», 2017. – С. 161–163.

Раткович Л. Д., Матвеева Т. И., Гаврилов Д. В. К вопросу о целесообразности возобновления строительства Крапивинского водохранилища // *Juvenis scientia*. – 2017. – № 6. – С. 7–9.

Рябокоть Ю. И., Чебых М. М. Охрана окружающей среды. – Красноярск: КГТА, 1994. – 144 с.

Савкин В. М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях). – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 152 с.

Титков С. Б. Зарубежный опыт по защите населённых пунктов от затопления в бассейне // *Градостроительство*. – 2013. – № 5 (27). – С. 62–65.

Угрюмова Б. И., Шилинко К. И. Проблемы качества воды в водохранилищах вследствие их загрязнения древесной массой // *Системы. Методы. Технологии*. – 2009. – № 2. – С. 112–113.

Ai X. S., Ran B. Y. FS-DDP method and its application to optimal of groups of reservoirs // *Hydropower Autom.* – 2007. – N 1. – P. 13–16.

Avakyan A. B. Economic and ecological consequences reservoir // *Translated from Gidrotekhnicheskoe Stroitelstvo*. – 1991. – N 8. – P. 455–464.

Baxter R. M. Environmental effects of reservoirs // *Microbial Processes in Reservoir*. – 1985. – P. 1–26.

Imre V. Nagy, Kofi Asante-Duah, Istvan Zsuffa Planning for Dams and Reservoirs: Hydrologic Design Elements and Operational Characteristics of Storage Reservoirs // *Hydrological Dimensioning and Operation of Reservoirs*. – 2002. – Vol. 39 – P. 29–60.

Milanović P. Dams and Reservoirs in Karst // *Karst Management*. – 2011. – P. 47–75.

Milanović S., Vasić L. Review: Methodological approaches and research techniques for addressing construction and remediation problems in karst reservoirs // *Hydrogeology Journal*. – 2021. – Vol. 29. – P. 101–122.

Shchedrin V. N., Vasilev S. M., Kolganov A. V., Medvedeva L. N., Kupriyanov A. A. Meliorative institutional environment: The area of state interests // *Espacios*. – 2018. – T. 39, N 12. – P. 28.

Shibao Lu, Yizi Shang, Wei Li, Yi Peng, Xiaohu Wu Economic benefit analysis of joint operation of cascaded reservoirs // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 179. – P. 731–737.

You Xu, Xiaojuan Guo, Yong Dan, Zhengjian Yang, Jun Ma, Defu Liu, Yaqian Xu Impact of cascade reservoirs on continuity of river water temperature: A temperature trend hypothesis in river // *Hydrological processes*. – 2021. – 35:e13994. – P. 1–13. <https://doi.org/10.1002/hyp.13994>

Zhau Tongtiegang, Cai Ximing, Yang Dawen Effect of streamflow forecast uncertainty on real-time reservoir operation // *Water Resour.* – 2011. – N 34. – P. 495–504.

Prosekov A. Yu. Effect of artificial floods during reservoir construction on the biological resources of the flooded area // *Ekosistemy*. 2021. Iss. 28. P. 5–15.

Russia is currently implementing an extensive hydropower program, which will provide population with safe and balanced water supply. The XXth century was the era of large-scale land reclamation, huge man-made reservoirs, and powerful hydroelectric power plants, which resulted in numerous artificial flooding. Although building of dams on large rivers contributed to economic growth, their construction and operation had serious consequences for many river valleys. Unfortunately, defective dam projects still make this issue relevant. Water resources are the most important factor in human life and in nature. Artificial reservoirs have an enormous impact on the environment. On the one hand, their construction is economically justified; on the other hand, they violate the hydrological regime of rivers, distort river valleys, cause soil degradation, and destroy terrestrial vegetation in the flooded areas. Moreover, they affect groundwater and river systems, thus, causing climate change. Very often, man-made reservoirs deteriorate the sanitary and hygienic state of the adjacent territories, change in the amount of fresh water, and lead to death of fish. Large reservoirs have always received special attention from scientists, who believe that constant monitoring can prevent disasters. The state takes various measures to preserve water and land, as well as their recreational and biological resources. The mode of operation of hydroelectric power plants and reservoirs is an important factor of environmental protection measures. To minimize the negative consequences of constructing dams, authorities should constantly assess and forecast the state of nature in the related areas, design detailed land development projects, and perform various preventive measures. Thus, diking requires serious scientific planning before the onset of construction.

Key words: reservoir, flooded area, ecosystem, biocenosis, natural resources.

Поступила в редакцию 26.04.21

Принята к печати 24.09.21

УДК 581.15:574:001.8(477.60)

Фитомониторинг в техногенно трансформированной среде: методология и практика

Сафонов А. И.¹, Глухов А. З.²

¹Донецкий национальный университет
Донецк, Донецкая Народная Республика
andrey_safonov@mail.ru

²Донецкий ботанический сад
Донецк, Донецкая Народная Республика
glukhov.az@mail.ru

Совокупность экотопов Донбасса рассматривается как техногенно трансформированная среда. На основании данных об индикационных признаках и свойствах растений в Донбассе выделены структурно-функциональные единицы методологической значимости для рассмотрения эмпирических блоков фитомониторинга промышленного региона в качестве взаимодействующих элементов диалектического поля. В обозначенных рамках мониторинга как программы оценки качества экотопов в пространстве (по геолокалитетам) и во времени (в динамике) система фитоквантификации характеризуется обязательными свойствами, требующими как общенаучного теоретического осмысления, так и эмпирической иллюстрации на конкретных примерах. Рассмотрены принципы общенаучного теоретического содержания программы по фитомониторингу в антропогенно трансформированном регионе с обязательным пояснением на примере эмпирически полученных результатов. План-концепция соответствует законам материальной диалектики по специфике выявления причинно-следственных связей в системах «фактор – признак», «индикатор – индикат», технологии взаимно-обратной оценки перерасчета основных непараметрических признаков в параметрические характеристики, учету адаптационных возможностей тест-индикаторов в меняющихся условиях среды.

Ключевые слова: экологический фитомониторинг, диалектический материализм, фитоиндикация, Донбасс, техногенно трансформированная среда.

ВВЕДЕНИЕ

Познание механизмов и способов возникновения, а также закономерностей реального существования и дальнейшего развития фитосистем в постоянно меняющемся мире природных флуктуаций и антропогенных воздействий представляет собой обязательное сочетание теоретических и эмпирических подходов оценки и интерпретации данных о дискретных параметрах фитосреды и континуальных характеристиках фитосоциовзаимодействий. В совокупности такие представления формируют методологию научного подхода (Вернадский, 1991; Кравченко, 2020), что является важным ориентиром для планирования и реализации деятельности в конкретном регионе на целевых объектах исследования (Антонова и др., 2014; Тамахина и др., 2019; Nedjimi, 2020).

Опираясь на общие философские закономерности функционала материальной системы реализации жизни (Гегамян, 1993; Реймерс, 1995; Вернадский, 2001; Розенберг, 2010, 2013), в разных частных примерах осуществляются программы исследования прикладных вопросов эволюционной биологии (Ernst, 2006; Burggren, 2016; Васильев, 2019), медицины (Карпин, 2004; Абаев, 2009; White, 2010), адаптационной изменчивости (Hiremath, 2013; Panidi, 2016; Зыкова и др., 2017; Безель и др., 2019; Бойко, 2019, 2020; Nedjimi, 2020), токсикологии (Pozolotina et al., 2017; Лянгузова, 2017; Алемасова, 2019) в новых условиях технологического процесса (Montgomery et al., 2016; Гермонова, 2019; Meena, 2020). При этом *субъектом* всегда рассматривается работа исследователя на всех стадиях эксперимента; *объектом* в прикладных программах выступают природные среды, отдельные виды (их состояние), надвидовые (преимущественно популяционные) социо-характеристики, агрессивные агенты трансформации и возмущений – «загрязнители» в собирательном смысле, технологии различного целевого назначения, биогенная конформационная система и прочие; а

предметом во всех вариантах описательной интерпретации всегда является определение тесноты связи в системе взаимодействующих элементов материи. И эта взаимосвязь может иметь разную степень сопряжения, соединяя и объясняя по причинно-следственным цепочкам происходящие процессы в системах любого ранга (Селедец, 2018; Мандра и др., 2019; Гусев, Шпилевская, 2020).

Если эмпирически доказана достоверность в системе «фактор – признак», то в технологии оценки и мониторинга такая группа автоматически рассматривается как логическое парное преобразование «индикат – индикатор». Следовательно, все изучаемые закономерности, имея обоснование для происходящего, индицируются, то есть могут быть оценены по сродству между компонентами системы. Индикационная значимость для ситуаций с природными и природно-антропогенными конгломератами нуждается в обязательной численной оценке (квантификации), и роль ученого заключается в унификации такой оценки для разных внутрисистемных взаимодействий таким образом, чтобы проводить необходимые научные процедуры: рекогносцировку, диагностику, инвентаризацию, превентивную профилактику и постэксплуатационную ликвидацию, конструктивный менеджмент в поддержании продуктивного баланса развивающихся и уязвимых экосистем (Zippereret al., 2000; Глухов, Сафонов, 2016; Плугатарь, Папельбу, 2018). Для техногенно трансформированных регионов, среди которых в глобальном масштабе выделяется территория современного Донбасса, система многоступенчатой квантификации объединена программой целевого экологического мониторинга, в том числе с помощью растительных организмов (фитомониторинга) (Глухов, Хархота, 2001; Глухов, Сафонов, 2002; Yermolaev et al., 2014; Золотой, 2017; Мирненко, 2017; Морозова, 2019), включающего обязательные блоки наблюдения, оценки, прогноза и контроля состояния среды. Локально полученные данные требуют объединения не только в геосистемном (плоскостном картографическом) аспекте, а также осмысления и диалектического понимания в материалистической интерпретации (Сафонов, Глухов, 2021).

Цель работы – разработать методологические основы фитомониторинга в техногенно трансформированной среде на основании эмпирических данных о значимых индикационных признаках и свойствах растений в Донбассе.

МЕТОДОЛОГИЯ (СВОЙСТВА И ПРИНЦИПЫ ФИТОМОНИТОРИНГА)

В обозначенных рамках мониторинга как программы оценки качества экотопов в пространстве (по геолокалитетам) и во времени (в динамике) система фитоквантификации (Safoнов, 2013, 2014) характеризуется обязательными свойствами, требующими как общенаучного теоретического осмысления, так и эмпирической иллюстрации на конкретных примерах в результирующей части публикации:

- 1) объективно описанную материалистичность;
- 2) структурированность (наличие системообразующих элементов: скелетность, каркасность и их наполнение);
- 3) поликомпонентность в значении сложности при разных формах и способах материального взаимодействия;
- 4) открытость (или квазизамкнутость по круговоротам) в обмене веществом, энергией и информацией;
- 5) способность эволюционировать в значении наличия ответных реакций и выработке свойств, позволяющих выживать и реализовывать свою генетическую программу в меняющихся условиях среды;
- 6) динамичность, что важно, например, при учёте погрешности в микроклиматических тенденциях или адаптационных характеристиках структур и функций растительных объектов;
- 7) детерминированность как смысл индикационного поиска при рассмотрении обуславливающих факторов для рассмотрения современного состояния и закономерности проявления материалистических свойств;

8) стохастичность при поиске новых вероятностных индикационных признаков или выбраковки утративших своё индикационное значение;

9) пластичность в значении поливариантности и при учете реализации дополнительных признаков генома, не регистрируемых ранее;

10) целевую объективность в значении информативности конкретных индексов при реализации целевых программ;

11) дискретность для различных дифференцированных индексов, ранжированных и оцененных признаков в рамках созданных экологических шкал или группах экологической валентности по отношению к фактору (или факторам) среды или установленному тренду антропогенной (или токсикогенной, трансформирующей) нагрузки;

12) континуальность как преемственная неразрывность переходящих друг в друга процессов, например, при формировании системы непрерывной фитомониторинговой программы;

13) иерархичность структур и функций преимущественно по плотности корреляции, рассчитанной разными способами в математической обработке данных;

14) целостность как свойство материи реагировать, например, на процессы возмущения в системе путем перестройки всех её компонентов – как дискретных объектов (особей, видов), так и континуальных частей целого (отдельных клеток в тканевых совокупностях, или при рассмотрении фитосоциальной среды);

15) эмерджентность (рассматривается в качестве обсуждения) как проявление уникальных свойств материи при сочетании определенных параметров, которые не были характерны для изучаемой системы путем их механического составления в случайной совокупности.

Мониторинговые исследования с использованием растений объединяют несколько обязательных процедур: 1) получение первичной информации путём наблюдения (сбор растений в соответствии с узлами локализации мониторинговой сети); 2) обработка данных и получение результатов камеральных наблюдений – аналитико-синтетический этап для возможного построения прогностической модели; 3) представление результатов в наглядном программном обеспечении; 4) информирование специализированных инстанций об имеющейся информации.

В основу методологического подхода реализации научной программы по фитомониторингу в антропогенно трансформированном регионе положено несколько принципов общенаучного теоретического содержания с обязательным пояснением на примере эмпирически полученных результатов:

1) презумпции наличия потенциальной индикаторной связи или проявления корреляционно рассчитываемой зависимости растительных организмов от факторов внешней среды, в том числе неблагоприятного проявления (угнетения, деструкция, деградация и пр.);

2) обязательности проверки доступных индикаторных свойств растений, соподчинения признаков и свойств растений физиологическим и биохимическим закономерностям роста, развития и целостного функционирования;

3) комплексности при использовании разных инструментальных и аналитических методов в оценке состояния внешних сред и внутреннего статуса объекта исследования;

4) достоверности посредством использования математического и (или) статистического критерия на доверительном интервале, достаточном для полевых эколого-ботанических исследований;

5) полноты информации в аспекте имеющихся данных о состоянии экотопов, в том числе стратегической важности в первую очередь для жизни и здоровья человека;

6) независимости (непредвзятости) проводимой фитозоологической экспертизы, например, при профессиональной диагностике образцов фитоматериала без информации о привязке к геолокалитету;

7) научной обоснованности при оценке целесообразности проводимых исследований, повторности, затрат оборудования и интеллектуальных усилий на получение информации,

достаточной для принятия управленческих решений или ограничивающих мер пользования природными ресурсами или воздействия на окружающую среду;

8) объективности за счет использования разных подходов при оценке и интерпретации результатов (данных) диагностического содержания;

9) гласности при условии принципиальной возможности обнародования результатов научно-исследовательской деятельности как в специализированной литературе, так и в источниках открытого доступа при реализации дополнительных программ общественного экологического мониторинга и открытого обсуждения данных с возможностью принятия корректирующих управленческих решений;

10) ответственности за качество полученных результатов согласно инструкции или методическим рекомендациям и за результаты исследований, важные в системе экологического менеджмента в регионе.

Выполнение научной программы в соответствии с перечисленными принципами формирует концептуальный методологический смысл изучения индикаторных признаков и свойств растений в техногенно-напряженной среде.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментальной базой аналитического контроля является мониторинговая сеть, состоящая из 113 фиксированных учетных площадок для всей территории Центрального Донбасса и дополнительно 120 точек для территории Ворошиловского и Калининского районов Донецка.

Установлено, что реализуемый фитомониторинг экотопов Донбасса состоит из восьми функционально связанных блоков. Для каждого блока рассмотрены примеры реализации, перечислены объекты, их признаки и свойства, которые в совокупности формируют возможность создания программы фитоквантификационной оценки качества экотопов.

1. Система обеспеченности региона экологической информацией, определение тенденций на основании возможного ретроспективного анализа, учёт динамических нововведений в условиях экологических кризисов техногенного и социально-конфликтного характера. Каркас (системообразующие связи) фитомониторинга открытых природных экосистем центральной части промышленного Донбасса сформирован двухуровневой мониторинговой сетью (Сафонов, Гермонова, 2019) с привязкой каждого узла к местности – учетной площадкой. С учетом целенаправленно полученных первых данных с 1996 года рассмотрена возможность ретроспективного анализа и динамики показателей, определяющих уровень состояния балансовых систем по критериям трансформации в широком смысле терминологического, определяющего и токсическую нагрузку, и антропогенное воздействие на фоне естественных биогеохимических циклов и процессов в регионе. Как информационно-аналитическая система весь фитоиндикационный мониторинг рассматривается в многофункциональном аспекте и как справочное, консультативное, с поэтапным методическим сопровождением, имеющим возможность к экстраполяции совокупности методологических аспектов на другие регионы с высоким уровнем техногенной нагрузки на природные среды.

Методологически такая программа опирается на подходы:

1) ранжирования территорий и зон по благоприятному использованию их в целевых программах ресурсопотребления в широком смысле;

2) планирования и организации различных видов деятельности на стадии предпроектной экспертизы;

3) учёта особенностей данных общественного экологического мониторинга и работы общественных советов с обязательными своевременными научными консультациями для принятия решений благоустройства;

4) разработки плановых профилактических мероприятий и способов рациональной ликвидации последствий аварийных ситуаций, что чрезвычайно востребовано для всех регионов с развитым уровнем промышленности и урбанизации.

Наиболее изучены в индикационном отношении виды: *Cichorium intybus* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Echium vulgare* L., *Tragopogon major* Jacq., *Berteroa incana* (L.) DC., *Tanacetum vulgare* L., *Reseda lutea* L., *Plantago major* L. Новые виды, апробация индикаторной значимости которых начата в 2018 году: *Atriplex mircantha* C.A.Mey., *Nigella arvensis* L., *Glaucium corniculatum* (L.) Rudolph, *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem, *Portulaca oleracea* L., *Alsine media* L., *Dianthus campestris* M. Bieb, *Gypsophila paniculata* L., *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Sagina procumbens* L., *Stellaria subulata* BoeberexSchlecht. Всего в базе фитоиндикационных исследований задействовано 154 вида цветковых растений (Сафонов, 2019).

Бесспорные преимущества проведения фитомониторинговых разработок в антропогенно трансформированной среде по выявлению реакций фитообъектов на всякого рода изменения требуют формирования на основе этих данных общегосударственных программ экологического назначения с применением автоматизированной или стационарной лабораторно-инструментальной техники, привлечения отделов статистической обработки информации, лаборатории картографической визуализации меняющихся или консервативно-стационарных показателей и пр.

2. Определение индикационной функции фитокомпонентов в экологической диагностике природных сред как методический приём квантификации (индикационные шкалы, коэффициенты значимости, аддитивные диапазоны варьирования признаков и пр.) на основании статистически доказанных особенностей структурно-функциональной зависимости состояния фитообъектов в меняющихся условиях среды. По принципиально реализуемому методологическому подходу в обозначенной научно-прикладной задаче аргументом является состояние антропогенно трансформированной природой среды, функцией – выявленная информация путём интерпретации данных, полученных при изучении растительных объектов, сформированных в конкретном месте и в конкретное время. Это обоснование полностью соответствует классическим представлениям пространственно-временной системы организации материи.

Смысловая нагрузка фитокомпонентной диагностики определена выявлением разницы между неравновесными флуктуирующими опытными и равновесными контрольными образцами – результатом материальной обработки объекта исследований и установления его состояния. Индикационная функция экологически значима, поскольку в своем многовекторном использовании показывает взаимозависимые процессы в экосистемах, однако, чем разветвлённой причинно-следственной цепочка, тем сложнее определить прямые связи, в частности на фитоиндикационном уровне. В таком случае обработка результатов полевых исследований должна предусматривать возможную организацию лабораторно-аналитического контроля в условиях нивелирования помех и вычленения основных факторов, представляющих приоритетный интерес в экологических исследованиях.

Технология создания экспериментальной рабочей и одновременно аддитивной экологической шкалы индикационного признака – это способы разложения характеристики на диапазон варьирования в соответствии с меняющимся экологическим фактором, например, в тренде токсической нагрузки по основным атрибутам материи:

1) в пространстве – при удалении на равные расстояния от источника выбросов предприятия-загрязнителя, при этом учитывается сбор данных в направлении сторон света (с обязательным принятием во внимание западного и восточного направления, учитывая сезонные и доминирующие ветры в регионе);

2) во времени по разным категориям его протекания – суточные, сезонные, межгодовые, пяти- и десятилетние интервалы времени – для определения динамики, цикличности и амплитуды колебаний внутри конкретного интервала. В практике фитомониторинга открытых геолокаций самым распространенным является метод получения годовой характеристики и расчёта межгодовой разницы. Экологическая шкала в апробированных целевых назначениях на группе цветковых растений по диапазонам морфологической пластичности – это результат эмпирического учёта крайне контрастных и внутренних

переходных значений. Априори заложено, что для 10-балльной индикаторной шкалы не бывает нулевого значения, а показатели от 1 до 10 распределены следующим образом:

1–3 – соответствуют уровню воздействия на среду, не превышающую допустимую норму в совокупности влияния всех факторов;

4–6 – диапазон выносливости вида или возможности проявления признака в конкретных геохимических или геофизических условиях;

7–8 предкритическое состояние изучаемого признака, в котором наблюдается либо резкое угнетение нормальных функций, либо проявляется механизм компенсаторного стресс-торелирования, на этом уровне, как правило, определяются значимые параметры для монофакторного эксперимента или в контролируемых известных условиях систем полевых наблюдений в рамках одной мониторинговой точки.

На практике открытого фитоиндикационного эксперимента максимальные значения экологической шкалы 9–10 зачастую проявляются в суммационном эффекте по механизму реализации конкурентного взаимоусиливающего ингибирования.

В таких диапазонах проявления признака исследователь формирует ожидаемую тенденцию возникновения новообразования, массовой гибели особей в целом или микроэволюционного преобразования функций и связанных с ними структур. Техника расчета пороговости межинтервальных значений внутри всего диапазона может быть разной – равномерно установленных ступенек в значении внутриинтервальной принадлежности как правило не существует, поэтому эмпирика и статистика диалектически формируют критерий фитоиндикационной значимости, например, морфотипическая разнокачественность общего габитуса *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. – *MDGTi* – (2) [2–4] [4–6] [6–8] [8–9] [9–10] [10–11] [11–12] [12–13] [13]; индекс трихоморазнообразия *Echium vulgare* L. – *ITREv* – (2) [2–3] [3–5] [5–6] [6–7] [7–8] [8–9] [9–10] [10–11] [11]; степень дефектности пыльцевых зерен *Cichorium intybus* L. при окрашивании метиленовым синим – *SDPmsCi* – (2,50) [2,50–4,99] [5,00–7,49] [7,50–9,99] [10,00–12,49] [12,50–14,99] [15,00–17,49] [17,50–19,99] [20,00–29,99] [30,00] и и другие варианты фитоиндикационных шкал (Сафонов, 2018).

Назначение фитоэкологической шкалы в целевой программе оценки трансформации или уровня нагрузки на природные среды – разбить весь диапазон значения признака таким образом, чтобы получить для каждой мониторинговой точки значение индекса, валентное в корреляционном анализе значению фактора, в таком случае и определяется теснота связи признаков и характеристик среды.

3. Технология установления индикаторной значимости выявленных признаков, аналитический контроль и проверка данных, методы геолокальной визуализации по структурным идентификациям растений, выявление наличия ранжированного территориального ряда и использование параметрических корреляционных плеяд. Фитоиндикация в экологическом мониторинге антропогенно трансформированного региона может быть реализована на всех уровнях существования и развития фитоматерии. Практика проведения полномасштабного скрининга в промышленном регионе доказывает целесообразность использования морфоструктурных характеристик от клеточного до ценопопуляционного уровней, например, индекс частоты встречаемости (ч. в.) пыльцевых зёрен с атипичным строением лакун, ч. в. четырехгранных пыльцевых зёрен, варибельность скульптуры, орнаментации и формы пыльцевых зёрен, индекс трихоморазнообразия (типификация трихом), индекс общей специализации трихом (нитчатого, ретортообразного типа и сферической формы) – *уровень отдельно сформированных клеточных образований*; индексы аномальности анастомозной сетки и атипичного строения устьичного аппарата, прозенхимная деградация дерматогена, гиперфункция ткани, гомологичной гиалиновой оболочке, структурная дегенерация внешнего слоя эндосперма, элиминация тканей, идентифицированных как протодермальные образования с разных сторон зародыша – *тканевой уровень организации фитоматерии*; морфотипическая разнокачественность общего габитуса, ч. в. деформированного или несформированного зародыша, проявление тератологических синкотилии и схизокотилии, индекс матрикальной гетерокарпии, степень выраженности асимметрии отдельных органов или сопряженных структур – *уровень систем*

органов; проявление онтогенетических жизненных стратегий в аутфитоиндикационном аспекте (произведение показателей семяобразования, созревания и жизнеспособности, периодов плодоношения и генеративного побегообразования), коэффициент генеративной активности – *онтогенетический аспект аутфитоиндикации*; ареалообразующие характеристики, наличие видов в маргинальных участках краевых границ выносливости, расстояние переноса элементов диссеминации, проявление розеточности, гигантизма, олигомеризации, карликовости, стратегия захвата территории вегетативным способом и за счёт генеративных структур в проявленном результате межвидовой конкуренции, сукцессионные процессы на эдафотопах, начиная со стадии эцезиса как варианта сингенеза в пространстве с открытыми экологическими нишами в совокупности рассматриваются как *синфитоиндикационные характеристики*. Таким образом, при выборе фитоиндикационных признаков учитывается иерархия структур с предполагаемым соподчинением функций и их оценивания, что также соответствует законам диалектического материализма.

Способы получения и обработки данных в обозначенном научно-техническом задании по квантификации учитывают лабораторный эксперимент по созданию сред с контролируемыми характеристиками, камеральную обработку полевых сборов, перепроверку результатов в достаточном для достоверности количественном эквиваленте по объёму выборки, сравнение тенденций и результатов однотипных и взаимодополняющих параметров в динамике. Процесс визуализации реализуется в нескольких направлениях: 1) витальное препарирование, рассмотрение и фотографирование образцов при световом микроскопировании – получение наглядных сравнительных образцов для шкалообразования и соответствующей квантификации; 2) картографические продукты: значение отдельных признаков, плоскостное распределение по ранжированным рядам, определение функции приращения в динамическом эквиваленте; 3) структурное моделирование, например, геометрические трансформации пыльцевых зёрен под воздействием загрязняющего вещества, процесс формирования дерматокалпиптрогена в миграционных потоках токсического элемента среды и пр. Параметрическую корреляционную плеяду в аспекте фитоиндикационного мониторинга целесообразно формировать как массивы данных для многократного сравнения между собой, причём перед фитоиндикационными заключениями обязательно нужно определить степень сродства между показателями внешней среды для индикаторного признака, а также выяснить сопряженность проявления признаков между собой, – как правило больше 60% признаков имеют взаимозависимость в проявлении при действии одинаковой комбинации факторов токсической среды, тогда эти признаки являются компенсаторными и альтернативно используются при выпадении серии локальных экспериментов в конкретном году при сборе первичных данных.

4. Учёт вегетативно-соматических признаков фитоиндикации: архитектурные модели корне-, побегообразования, ветвления и других морфологических параметров на основании выявленных отклонений или проявлений на уровне отдельных доступных для анализа субклеточных структур, клеток и конформационных тканей. Функционально важно разделение вегетативных органов по сопряжению с факторами природных внешних сред:

1) микрокорневые системы находятся в прямом контакте с почвенным раствором, однако в практических заключениях делается логический вывод о степени загрязнения или трансформации почвенного горизонта;

2) особенности поверхности листовой пластинки фолиарных образований верхних формаций напрямую контактируют с воздушной средой, однако структуры закладываются в базовой части органогенеза при системном физиологическом обеспечении листа во взаимосвязи с корневой и побеговой системами, поэтому эмпирически нужно устанавливать – является ли рассматриваемый признак продуктом прямого воздействия агрессивности воздушной среды, или это общая физиолого-генетическая реакция на факторы водной или почвенной среды;

3) при анализе палинологического материала важен факт степени созревания пыльцы и места её сбора: если пыльца находится в пыльниках при лабораторном препарировании, то связь логичнее проводить с показателями внутренней среды организма, если же произведён

сбор свободнооседающей пыльцы из аэрогоризонтов, то структурная характеристика экзины находится в прямом контакте с воздушной средой приземного слоя атмосферы, и даже эти показатели могут быть таксонспецифичны, учитывая особенности разных видов продуцировать элементы мужского гаметофита в разных объемах и генерациях, с разной периодичностью, в разные сезоны и в разных микроклиматических условиях;

4) определение фенотипов околоцветника отдельных видов в разных ценологических условиях в сравнительном анализе должно учитывать онтогенетическую стадию особи и индивидуально видовое рассмотрение вопроса одно- или многоразового контакта венчика с воздушной средой. Поэтому поиск универсальных фитоиндикаторов очень важен в реализации программ индикационного мониторинга антропогенно трансформированных экотопов.

В вегетативно-соматических моделях реализации побегообразования, надземной и подземной архитектоники проявляются тактики растительного организма по использованию ресурсов: территории, элементов питания, факторов жизнеобеспечения, реализации общебиологических потенций, поэтому выявленные отклонения от нормы в строении вегетативного органа на макроморфологическом уровне – это результат комплексной реализации (успеха в онтогенезе или сбоя в органогенезе) стратегии выживания вида в нестабильных или меняющихся экологических условиях. Из совокупности признаков гетерогенного строения листового аппарата новых для индикации в Донбассе видов растений по индикационным свойствам выделены: *Nigella arvensis* L., *Glaucium corniculatum* (L.) Rudolph, *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem, *Portulaca oleracea* L., *Alsine media* L., *Gypsophila paniculata* L., *Sagina procumbens* L., *Atriplex mircantha* C.A.Mey. (Сафонов, 2020).

5. Индикация природно-техногенных экотопов по генеративным преобразованиям: причинно-следственные связи тератных проявлений на уровне отдельных частей цветка, общей морфологии дискретных генеративных органов и автономной продукции растительного происхождения (пыльцевые зерна на разных стадиях формирования, эмбриональные гистохимические проявления, частные карпологические характеристики и пр.) в условиях неблагоприятной гетерогенной среды. Практика индикационного эксперимента в разных частных примерах рассматривает строение генеративных структур растений как консервативный признак, например, при защитных процессах эмбрио- и карпогенеза, или максимально уязвимый и морфопластичный признак, например, при формировании экзокарпической орнаментации в период синильной стадии развития особи, архитектоники синфлории, побегообразования на начальных стадиях генеративного развития. Причем в первом и во втором примере установлена связь с характеристиками воздушной среды, что важно для дифференцированного индикационного анализа в проведении корреляционных расчетов (Safonov, Glukhov, 2021).

Описанное диалектическое противоречие на примере консервативности генеративных структур в своем проявлении формирует успех именно комплексного подхода в проведении фитомониторинговых исследований открытых природных сред.

Вариативность экологической пластичности и морфотипической изменчивости наглядно отображается в проявлении аномальных (тератных) признаков. Путём перепроверки результатов установлено, что перечисленные тератные образования не проявляются в следующих как минимум двух поколениях потомков, перенесенных в условно благоприятную в токсическом эквиваленте среду. Это важно для реализации фитомониторинговых программ по фенотипическим признакам – в условиях экспресс-диагностики и полевой специфики эксперимента в целом. Строение цветка по тератогенному типу, преимущественно околоцветника, тычиночных нитей установлены для следующих новых в экологическом мониторинге видов растений: *Nigella arvensis* L., *Glaucium corniculatum* (L.) Rudolph, *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem, *Portulaca oleracea* L., *Dianthus campestris* M. Bieb, *Gypsophila paniculata* L., *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Sagina procumbens* L., *Stellaria subulata* Boeberex Schlecht. Отдельной группой тератогенных признаков эмбриональной структуры отмечены виды растений техногенных экотопов Донбасса: *Fumaria schleicheri* Soy.-Willem, *Portulaca oleracea* L., *Dianthus campestris* M. Bieb, *Gypsophila paniculata* L., *Moehringia trinervia* (L.) Clairv., *Stellaria subulata* Boeberex Schlecht., *Atriplex mircantha* C.A.Mey. – это наиболее

стратегически важный показатель, отражающийся на качестве семенного материала индикационных видов.

6. Анализ полученных данных ценопопуляционного содержания – демографические трансформации в группах индикаторов, а также выявленные микросоциальные тенденции для модельных индикаторных видов растений. Вопрос выживания как абсолютного показателя и степени выживаемости как статистического критерия общепопуляционного значения является также системным в категориях диалектического материализма. В этом аспекте рассматривается несколько процессов, также важных в диагностике качества природных сред: 1) миграционные процессы видов с ценопопуляционными характеристиками, приобретенными в стресс-индуцированных условиях – регистрация особей с расширяющимися локалитетами, например, металл-сформированных ассоциаций; 2) факты ожидаемой внутривидовой бифуркации в контрастных геохимических условиях при возможных условиях механических изоляций в рамках буферной территории предприятия-загрязнителя или отдельной промышленной зоны.

Теоретическое обоснование любых преобразований в структурах растительных организмов хоть и подтверждено по критерию проявления фенотипической природы, всё же детерминировано начальными генетическими возможностями, то есть способностью реализации генетической программы в новых условиях при выработывании комплекса стресс-защитных или стресс-адаптированных признаков, изначально имеющих стартовый механизм проявления именно на молекулярно-биохимическом уровне. Запуск таких структурно-функциональных преобразований на разных уровнях организации материи также является иллюстрацией диалектического характера существования и дальнейшего эволюционного продвижения живых систем. Следовательно, в контрастных гетерогенных условиях генетический аппарат вида находится в условиях стимулирования дополнительной генной экспрессии, что позволяет не только сохранить целостность вида в разнообразии его генофонда и единицы сообщества, но и вывести его характеристики в динамически равновесное состояние в часто непредсказуемо меняющихся условиях антропогенной трансформации экотопов.

7. Определение стратегий выживания (особей и видов на ценопопуляционном уровне) и смещения стратегического потенциала при реализации экологической ниши, например, тяготение к эксплеренции для пациентов и виолентов, процесс рудерализации и стимулирование стресс-устойчивости, онтогенетические трансформации (смещение фенопауз) индикаторной значимости. Проявление пластичности как защитной реакции и в то же время консервативности в строении и функциях – по тем же причинам является материальной аллюзией на диалектическое противоречие в борьбе противоположностей за стратегическое преимущество. В биологии совокупность таких стратегий связывают традиционно с борьбой за выживание. Эта борьба (прямое взаимоотношение, жесткая конкуренция, нелинейная взаимосвязь и пр.) обязательным образом программно обеспечивает биологический успех вида как единицы эволюционного процесса. Таксономическая единица, не вырабатывающая приспособительных новоприобретений в контрастных условиях среды (в данном случае – на примере комплексного фактора техногенеза) обречена на вымирание посредством катастрофического исчезновения или сравнительно постепенного угасания популяционных структур.

Все описанные процессы и характеристики растений в изучаемых условиях мониторинговой сети Донбасса являются совокупным отражением реализации стратегии выживания видов как дискретно оцениваемых субъединиц фитоквантификации.

8. Справочно-аналитические сводки и контроль в технологии регионального фитомониторинга включают процедуру пошагового динамического наблюдения в техногенной среде, внедрение аппарата автоматизированной системы оценки в разветвленном алгоритме инструментальных действий при обработке полевых и камеральных данных (первичной информации).

Необходимость в создании справочно-аналитического издания возникает в связи с возможностью учёта синонимического ряда используемых терминов в экологической

фитодиагностике и других научно-технических и философско-обобщающих задач (например, используемые термины *фитоиндикация*, *фитомониторинг*, *фитодиагностика*, *фитоквантификация*, *фитоскрининг*, *фитосенсорика*, *фитомаркирование*, *фитоэкспертиза* имеют отдельную информационную нагрузку применительно к разным целевым использованиям в науке и практике, следовательно, требуют смыслового уточнения). Тенденции в изменении показателей фитосреды и связанные с ними характеристики состояния антропогенных экотопов определены по микроэволюционным трендам в морфологической пластичности растений-индикаторов, что диалектически соответствует двум сопряженным процессам: изменения промышленно индуцируемых биогеохимических циклов и адаптациогенеза фиксированных биосенсоров в конкретной геоточке. Важно связать полученные данные с возможностью экспресс-анализа состояния локальных экосистем и оценки стохастичности экологических рисков для уязвимых природно-техногенных конструкций, что выводит исследовательский поиск и решение управленческих задач на уровень организации мониторинга потенциальных и реально развивающихся экологических кризисов.

В итоговой продукции проводимого фитоиндикационного мониторинга предусмотрено обязательное составление аннотированного списка признаков и характеристик, имеющих достоверное значение в испытанных условиях эксперимента. Дополнительная визуализационная программа предполагает сбор и оформление иллюстрированного атласа территориальных экологических напряжений в регионе по дробным и комплексным показателям нарушенности или баланса в природных системах.

Предложенная план-концепция сформирована на эмпирических данных и территориально апробирована, соответствует законам диалектического материализма по специфике выявления причинно-следственных связей в системах «фактор – признак», «индикат – индикатор», технологии взаимно-обратной фитоквантификации перерасчета непараметрических признаков в параметрические характеристики, учету адаптационных возможностей тест-индикаторов в меняющихся условиях среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрабатываемый фитоиндикационный мониторинг соответствует принципам диалектического материализма по форме и содержанию (как процесс, программа и система взаимодействующих элементов), а значит, может рассматриваться в качестве теоретически-прикладного научного направления, обусловленного актуальностью исследований в антропогенно трансформированном регионе.

По совокупности приведенных примеров и выявленных закономерностей мониторинг природных сред с помощью растений материален, структурирован, поликомпонентен, представляет собой открытую, целостную, детерминированную и динамически развивающуюся систему, способную к эволюционному процессу, характеризуется пластичностью, предусмотренной стохастичностью, дискретностью, континуальностью, иерархичностью по структурам и функциям. В такой совокупности свойств и характеристик экологический фитоиндикационный мониторинг – это диалектически оправданная совокупность научных изысканий, имеющих глобальную цель в получении объективной информации о состоянии компонентов природной среды.

Методологические разработки экологической проблематики, в том числе фитомониторинговых исследований, являются одним из ведущих составляющих как теоретического, так и практического разрешения проблемы биосферы – предотвращение дальнейших разрушительных изменений окружающей среды.

Список литературы

- Абаев Ю. К., Гриневич Ю. М. Законы и категории диалектики в медицине // Медицинский журнал. – 2009. – № 4. – С. 146–149.
- Алемасова А. С. Накопление тяжелых металлов мохообразными в различных экотопах Донбасса // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов: Матер. Междунар. научн. конф. (Киров, 16-18 апреля 2019 г.). – Киров: ВятГУ, 2019. – С. 60–65.
- Антонова Е. В., Позолотина В. Н., Каримуллина Э. М. Изменчивость костреца безостого в условиях хронического облучения в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа // Экология. – 2014. – № 6. – С. 459–468. DOI: 10.7868/S0367059714060031.
- Безель В. С., Жуйкова Т. В., Дуля О. В., Балыбердина Н. С. Внутривидовая изменчивость металлоустойчивости семенного потомства *Taraxacum officinale* Wigg. s.l.: анализ на основе зависимостей «доза – эффект» // Экология. – 2019. – № 4. – С. 263–269.
- Бойко Н. В. Палинологический материал *Taraxacum officinale* (L.) Webb ex Wigg. в условиях г. Донецка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. материалов XIII Междунар. науч. конф. аспирантов и студентов (Донецк, 16-17 апреля 2019 г.) Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2019. – С. 84–86.
- Бойко Н. В. Палинографические результаты для некоторых фитоиндикаторов Донбасса // Вестник студенческого научного общества ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Донецк: ДонНУ, – 2020. – Вып. 12, Т. 1.: Естественные науки. – С. 27–31.
- Васильев А. Г. Эволюционная экология в XXI веке: новые концепции и перспективы развития // Экология. 2019. – № 2. – С. 88–100.
- Вернадский В. И. Научная мысль как планетное явление. – М.: Мысль, 1991. – 271 с.
- Вернадский В. И. Биосфера: Мысли и наброски. – М.: Фонд им. В. И. Вернадского, 2001. – 244 с.
- Гегамян Г. О концепции «поле живого вещества» в биосферологии В. И. Вернадского // Бюллетень комиссии по разработке научного наследия академика В. И. Вернадского. – № 10. – М.: Наука, 1993. – С. 36–49.
- Гермонова Е. А. Визуализация микроклиматических изменений индикаторных признаков в локальных популяциях растений г. Донецка // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: Материалы междунар. научн.-практич. конф. (Воронеж, 3-5 октября 2019 г.). – Воронеж: Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019. – Том 2. – С. 39–40.
- Глухов А.З., Хархота А. И. Растения в антропогенно трансформированной среде // Промышленная ботаника. – 2001. – Т. 1. – С. 5–10.
- Глухов А. З., Сафонов А. И. Перспективы проведения фитоиндикационного мониторинга техногенно трансформированных экотопов // Промышленная ботаника. – 2002. – Т. 2. – С. 7–14.
- Глухов А. З., Сафонов А. И. Экосистемное нормирование по данным фитоиндикационного мониторинга // Донецкие чтения 2016: образование, наука и вызовы современности: Матер. I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16-18 мая 2016 г.). – Т. 1: Донецк: Изд-во ЮФУ, 2016. – С. 311–312.
- Гусев А. П., Шпилевская Н. С. Фитоиндикаторы техногенного химического воздействия на луговые экосистемы // Экосистемы. – 2020. – Т. 22. – С. 53–59.
- Золотой А. Л. Использование шкал Д.Н. Цыганова для оценки экологических параметров промышленных экотопов г. Донецка // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса: матер. Междунар. науч. конф. студ. и молодых ученых (Донецк, 17-20 октября 2017 г.). Т. 2. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2017. – С. 76–77.
- Зыкова Ю. Н., Скугорева С. Г., Товстик Е. В., Ашихмина Т. Я. Подходы к оценке состояния городских почв методами биотестирования с использованием организмов различной систематической принадлежности и данных химического анализа // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – № 3. – С. 38–46.
- Карпин В. А. Философские основания общей теории патологии // Архив патологии. – 2004. – № 5. – С. 56–60.
- Кравченко В. В. Ещё раз о критериях истины // Журнал философских исследований. – 2020. – № 2. – С. 26–91.
- Лянгузова И. В. Динамические тренды содержания тяжелых металлов в растениях и почвах при разном режиме аэротехногенной нагрузки // Экология. – 2017. – № 4. – С. 250–260.
- Мандра Ю. А., Есаулко А. Н., Ключин П. В. Экологическая оценка городских территорий с использованием растений различных таксонов в качестве индикаторов // Юг России: экология, развитие. – 2019. – Т. 14, № 4. – С. 134–146. DOI: 10.18470/1992-1098-2019-4-134-146.
- Мирненко Н. С. Спорово-пыльцевой метод в Донбассе на основе научных рекомендаций ученых России // Донецкие чтения 2017: Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса: Матер. Междунар. научн. конф. студентов и молодых ученых (Донецк, 17-20 октября 2017 г.). – Том 2. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2017. – С. 97–99.
- Морозова Е. И. Реализация репродуктивного потенциала мохообразных Донбасса по степени спорофитизации // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Сб. материалов XIII Междунар. науч. конф. (Донецк, 16-17 апреля 2019 г.). – Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2019. – С. 111–114.
- Плугатарь Ю. В., Папельбу В. В. Результаты фитоиндикации условий экотопов скальнотубовых фитоценозов Горного Крыма на тренде рекреации // Экосистемы. – 2018. – Т. 15 (45). – С. 61–66.

- Реймерс Н. Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. – М.: Россия молодая, 1995. – 366 с.
- Розенберг Г. С. К философии теоретической экологии (общая интерпретация основного содержания теории) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 12, № 1(9), 2010. – С. 2317–2323.
- Розенберг Г. С. Введение в теоретическую экологию. В 2-х т. – Тольятти: Кассандра, 2013. – Т. 1. – 565 с. Т. 2. – 445 с.
- Сафонов А. И. Чек-лист индикаторных признаков сорно-рудеральной фракции урбанофлоры г. Донецка (1998-2018 гг.) // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2018. – № 3–4. – С. 67–72.
- Сафонов А. И. Тератогенез растений-индикаторов промышленного Донбасса // Разнообразие растительного мира. – 2019. – № 1 (1). – С. 4–16. DOI: 10.22281/2686-9713-2019-1-4-16.
- Сафонов А. И. Новые виды растений в экологическом мониторинге Донбасса // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – 2020. – № 1. – С. 96–100.
- Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Экологические сети фитомониторингового назначения в Донбассе // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2019. – № 3–4. – С. 37–42.
- Сафонов А. И., Глухов А. З. Экологический фитомониторинг в Донбассе: эмпирические блоки методологии // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики. Матер. XVIII Междунар. научн.-практ. конф. – Тольятти, 2021. – С. 225–227.
- Селедец В. П. Трансформация экологической ниши *Festuca rubra* (Poaceae) в различных биоклиматических зонах Евразии // Ботанический журнал. – 2018. 103 (7, приложение). – С. 3–13. DOI:10.7868/S0006813618070098.
- Тамахина А. Я., Ахкубекова А. А. Мониторинг состава растительных сообществ на отвалах из отходов обогащения цветных металлов // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 2. – С. 61–67.
- Burggren W. Epigenetic inheritance and its role in evolutionary biology: re-evaluation and new perspectives // Biology. – 2016. – Vol. 5, N 24. – P. 2–22.
- Ernst W. H. O. Evolution of metal tolerance in higher plants // Forest Snow and Landscape Research For. Snow Landsc. Res. – 2006. – Vol. 80, N 3. – P. 251–274.
- Hiremath R. B., Balachandra P., Kumar B., Bansode S. S., Murali J. Indicator-based urban sustainability. A review // Energy for Sustainable Development. 2013. – Vol. 17, N 6. – P. 555–563.
- Meena M. K. Impact of arsenic-polluted groundwater on soil and produce quality: a food chain study // Environmental Monitoring and Assessment. – 2020. – Vol. 192, N 12. – P. 785.
- Montgomery J. A., Klimas C. A., Arcus J. Soil quality assessment is a necessary first step for designing urban green infrastructure // Journal of Environmental Quality. – 2016. – Vol. 45 (1). – P. 18–25. DOI: 10.2134/jeq2015.04.0192.
- Nedjimi B. Germination characteristics of *Peganum harmala* L. subjected to heavy metals: implications for the use in polluted dryland restoration // International journal of Environmental Science and Technology. – 2020. – Vol. 17, N4. – P. 2113–2122.
- Panidi E., Trofimetz L., Sokolova J. Application of phyto-indication and radiocesium indicative methods for microrelief mapping // IOP Conf. Series : Earth and Environmental Science. – 2016. – N 34. – P. 12–29.
- Pozolotina V. N., Antonova E. V. Temporal variability of the quality of *Taraxacum officinale* seed progeny from the East-Ural radioactive trace: is there an interaction between low level radiation and weather conditions? // International Journal of Radiation Biology Intern. J. of Radiation Biology. – 2017. – Vol. 93, N 3. – P. 330–339. DOI: 10.1080/09553002.2016.1254835.
- Safonov A. I. Approbation of botanical expertise method in ecological monitoring // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 219–221.
- Safonov A. I. Phyto-qualimetry of toxic pressure and the degree of ecotopes transformation in Donetsk region // Problems of ecology and nature protection of technogenic region. – 2013. – N 1. – P. 52–59.
- Safonov A., Glukhov A. Ecological phytomonitoring in Donbass using geoinformational analysis // Problems of Industrial Botany of Industrially Developed Regions 2021. – VI International Scientific Conference. – BIO Web Conf. – Vol. 31, 00020. – 2021. – 4 p. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213100020>.
- White P. J., Brown P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health // Annals of Botany. – 2010. – Vol. 105. – P. 1073–1080.
- Yermolaev O. P., Selivanov R. N. The use of automated geomorphological clustering for purposes of urban planning (the example of the city of Kazan) // World Applied Sciences Journal. – 2014. – Vol. 30, N11. – P. 1648–1655. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2014.30.11.14229.
- Zipperer W. C., Wu J., Pouyat R. V. The application of ecological principles to urban and urbanizing landscapes // Ecological Applications. – 2000. – Vol. 10, N 3. – P. 685–688. DOI: 10.2307/2641038.

Safonov A. I., Glukhov A. Z. Phytomonitoring in a technologically transformed environment: methodology and practice // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 16–28.

The total set of ecotopes in Donbass is considered a technogenically transformed environment. Based on the data on the indicative features and properties of plants in the Donbass, structural and functional units of methodological significance have been identified to analyze the empirical blocks of phytomonitoring of an industrial region as interacting elements of the dialectical field. Within the outlined framework of monitoring as a program for assessing the quality of ecotopes in space (by geolocalities) and in time (in dynamics), the phytoquantification system is characterized by mandatory features. These features require both general scientific theoretical comprehension and empirical exemplification. The principles of the general scientific theoretical content of the phytomonitoring program in an anthropogenically transformed region are discussed and mandatory explanations are given using the examples of empirically obtained results. The plan-concept corresponds to the laws of material dialectics in terms of identifying cause-and-effect relationships in the systems «factor – trait», «indicator – indicated objects», the technology of reciprocal evaluation of the recalculation of the main nonparametric features into parametric characteristics, taking into account the adaptive capabilities of test indicators in changing environment conditions.

Key words: ecological phytomonitoring, dialectical materialism, phytoindication, Donbass, technogenically transformed environment.

Поступила в редакцию 10.09.21

Принята к печати 12.11.21

УДК 351.853.2:502.5/8(292.471)

Природоохранная и историко-культурная ценность перспективного памятника природы Севастополя «Холм Канробера»

Шик Н. В.¹, Бондарева Л. В.², Мильчакова Н. А.², Александров В. В.²

¹ Севастопольский центр туризма, краеведения, спорта и экскурсий учащейся молодежи
Севастополь, Россия
shik.n@bk.ru

² Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
lbondareva@mail.ru, milchakova@gmail.com, valexandrov@list.ru

В работе дана оценка современного состояния природных комплексов, выявлены антропогенные факторы угроз, приведена характеристика природоохранной и историко-культурной ценности перспективного памятника природы «Холм Канробера». Исследования проведены в период с 2000 по 2021 годы. Впервые охарактеризована флора и фауна территории, с указанием раритетной составляющей, описан растительный покров и приведена карта основных растительных сообществ. Установлено, что в границах перспективной особо охраняемой природной территории (ООПТ) преобладают средне- и слабонарушенные фитоценозы. К регионально охраняемым относится 35 видов растений и 11 видов животных, из которых в Красную книгу РФ занесено 9 и 4 вида соответственно; выявлены лекарственные, медоносные и декоративные растения, промысловые виды животных. Для территории характерны геологические уникамы, сохранились остатки фортификационных сооружений XIX и XX веков. Холм имеет значение для пополнения подземных вод региона и как экологический коридор. В целом, изученная территория характеризуется высоким природоохранным, научным и историко-культурным значением и соответствует основным критериям перспективной ООПТ. Проанализировано антропогенное воздействие на территорию на протяжении последних 150 лет, установлено, что его наибольшая интенсивность была характерна для трех периодов: 1854–1855, 1941–1942 и 2004–2021 годов. Выявлены основные нарушения почвенного и растительного покрова и 14 ключевых факторов негативного воздействия на фитоценозы. Показано, что новый заповедный объект может служить модельным полигоном для изучения геологической структуры региона, сукцессии растительного покрова после антропогенных нарушений и мониторинга состояния популяций раритетных и охраняемых видов растений и животных. Высокая историко-культурная ценность позволяет рекомендовать перспективный памятник природы «Холм Канробера» для развития разных направлений регионального и международного туризма, при условии нормирования рекреационной нагрузки и соблюдения режима особой охраны природных комплексов.

Ключевые слова: биологическое разнообразие, растительные сообщества, природопользование, особо охраняемые природные территории, Крым, беллигеративные ландшафты, многолетние изменения.

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая доктрина (Экологическая..., 2020) и Концепция развития системы ООПТ Российской Федерации (2012) декларирует развитие природоохранной системы и формирование репрезентативной сети природных резерватов в качестве стратегических целей государства. Их реализация имеет особую актуальность для Крыма и города федерального значения Севастополя, характеризующихся высоким уровнем биологического и ландшафтного разнообразия (Выработка..., 1999). Согласно Постановлению Правительства Севастополя от 10.05.2016 № 432-ПП «Об утверждении состава схемы развития и размещения особо охраняемых природных территорий в городе Севастополе» в 2017 году авторами была выполнена научно-исследовательская работа по обоснованию развития природоохранной сети Севастополя и размещению новых объектов, установлению их природоохранного, историко-культурного, эстетического и рекреационного значения (Отчет..., 2017; Ежегодный..., 2020). Часть из них получила статус перспективных ООПТ Севастополя (Закон Севастополя от 9.09.2019 № 544-ЗС), к их числу относится памятник природы регионального значения «Холм Канробера», где предполагается сохранение малоизмененного лесостепного

ландшафта Крымского Предгорья, охраняемых видов и их биотопов, и объектов культурного наследия.

Холм Канробера (назван по имени Франсуа де Канробера (1809–1895), главнокомандующего французскими войсками в период Крымской войны 1854–1855 годы) и прилегающие территории являлись объектом геологических исследований на протяжении последних 150 лет. Их проводили Д. П. Стремухов, К. К. Фохт, А. А. Борисьяк, В. Ф. Пчелинцев, Г. Я. Крымгольц, А. Ф. Слудский, А. С. Моисеев, М. В. Муратов, Г. А. Лычагин, Н. И. Лысенко, Б. Т. Янин, Е. А. Успенская, В. М. Цейслер, Е. В. Краснов, В. И. Лебединский, В. И. Лысенкой др. (Лысенко, 2016). Однако, данные о флоре и фауне этого объекта, который отличается разнообразием природных комплексов, были отрывочными и неполными (Шик, 2017; Кукушкин и др., 2019). При этом степень сохранности природных комплексов и отдельных элементов белигеративных ландшафтов позволяет рассматривать его как модельный полигон для регулярных мониторинговых исследований состояния популяций охраняемых видов, изучения сукцессий, развития различных видов туризма на региональном и международном уровнях.

Поэтому была поставлена следующая цель работы – оценить современное состояние природных комплексов объекта, выявить антропогенные факторы угроз, охарактеризовать природоохранную и историко-культурную ценность территории перспективного памятника природы «Холм Канробера».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Холм Канробера (44.522500 N, 33.634444 E) находится в восточной части Балаклавской долины (рис. 1), абсолютная отметка вершины – 164,6 м. Относится к цепи Семякиных высот, расположенных южнее автотрассы Севастополь – Ялта, занимает срединное положение между Балаклавскими (на юго-востоке) и Чоргуньскими (на северо-востоке) высотами, а также Караньским плато (на юго-западе).

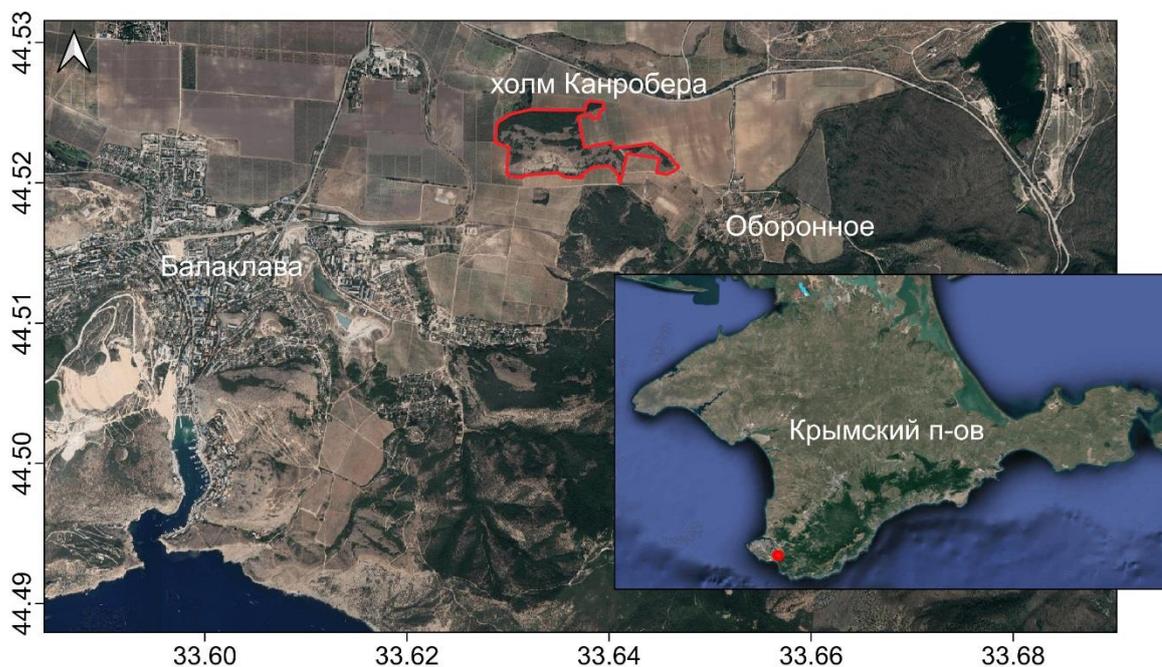


Рис. 1. Карта-схема расположения и границ перспективного памятника природы «Холм Канробера»

Форма холма овальная, его длинная ось (900 м) имеет широтный характер. Регион, в пределах которого находится исследуемая территория, принадлежит к эрозионно-тектоническим межгорным впадинам с низкогорным рельефом на нижнемеловых глинах (Атлас, 2003). Холм представляет собой массив верхнеюрских пород среди нижнемеловых отложений Первой продольной депрессии, которая разделяет Главную гряду (Балаклавские высоты) и Внутреннюю предгорную гряду (Инкерманские высоты) (Подгородецкий, 1988).

В тектоническом отношении холм Канробера и его подножье являются частью Балаклавской грабен-синклинали, которая сложена слабо дислоцированными отложениями от нижнего мела до неогена (Лысенко, 2016). Общий наклон этих отложений – на север-северо-запад с углами падения от 10° до 20°, в приразломных зонах – до 30° градусов.

В районе холма Канробера залегание нижнемеловых пород Балаклавской долины (Лысенко, 2003) нарушается выходом на дневную поверхность более древних пород верхнеюрского возраста, которые представлены такими литологическими разностями, как базальные конгломераты (южный склон) и тонко- или скрытокристаллическими мраморовидными известняками верхнеюрского возраста (вершина холма). На северном склоне холма известняки перекрываются песчано-глинистыми отложениями нижнего мела, имеющими водоупорные свойства. Водные источники отсутствуют, но наличие слоев прокарстованного известняка между конгломератами на южном склоне обуславливает периодическое появление здесь небольших водопроявлений.

Холм Канробера лежит в пределах Гераклеийского агроклиматического района, со среднегодовой температурой воздуха 11,5–12,1 °С, количество осадков не превышает 355 мм в год (Важов, 1977). Преобладают коричневые почвы сухих лесов и кустарниковых степей (Драган, 2004).

Комплексное обследование для выявления природоохранной ценности территории холма Канробера соответствует рекомендациям по созданию ООПТ (Степаницкий, Сеницын, 2008). Изучение флоры и фауны проводили маршрутно-экспедиционным методом с 2017 по 2021 годы и методом натурных наблюдений с 2000 по 2021 годы. В зимний период изучали следы животных по свежему снегу. Номенклатура растений приведена по Euro+Med Plantbase (2021), виды животных указаны по обобщающим сводкам (Дулицкий, 2001; Бескаравайный, 2012; Кукушкин и др., 2017), природоохранный статус по – (Красная...2018; Приложение..., 2020). На основании 16 геоботанических описаний определяли основные классы растительности по Ж. Браун-Бланке (Mucina et al., 2016). Степень нарушенности фитоценозов оценивали по В. Н. Голубеву (1983). Границы фитоценозов определяли по космоснимкам Google, а также по фотоматериалам и данным GPS-привязки к местности, полученным в ходе маршрутных наблюдений.

Для оценки изменений растительного покрова с 1854 по 2021 годы использовали архивные и современные фотографии, снятые с одних и тех же точек. Увеличение дорожно-тропиночной сети анализировали по космоснимкам Google Earth за период с 2004 по 2021 год. Факторы негативного воздействия на биоту, представляющие наибольшую угрозу для перспективного заповедного объекта, выделяли согласно классификации, разработанной для природных комплексов Крымского п-ова (Выработка..., 1999) с нашими уточнениями.

Местоположение элементов беллигеративного ландшафта приведено по карте для спортивного ориентирования, составленной А. А. Прокофьевым и собственным наблюдениям. Построение картосхем выполняли с использованием программы QGIS-3.10.10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Флора и растительность. Разнообразие сосудистых растений представлено более чем 300 видами. Растительный покров формируют лесные, редколесные, кустарниковые сообщества и петрофитные степи, относящиеся к классам *Quercetea pubescentis* Doing-Kraft ex Scamoni et Passarge 1959, *Junipero-Pinetetea sylvestris* Rivas-Mart. 1965, *Crataego-Prunetea* Tx. 1962, *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947 (Mucina et al., 2016) и вторичными сообществами (рис. 2).

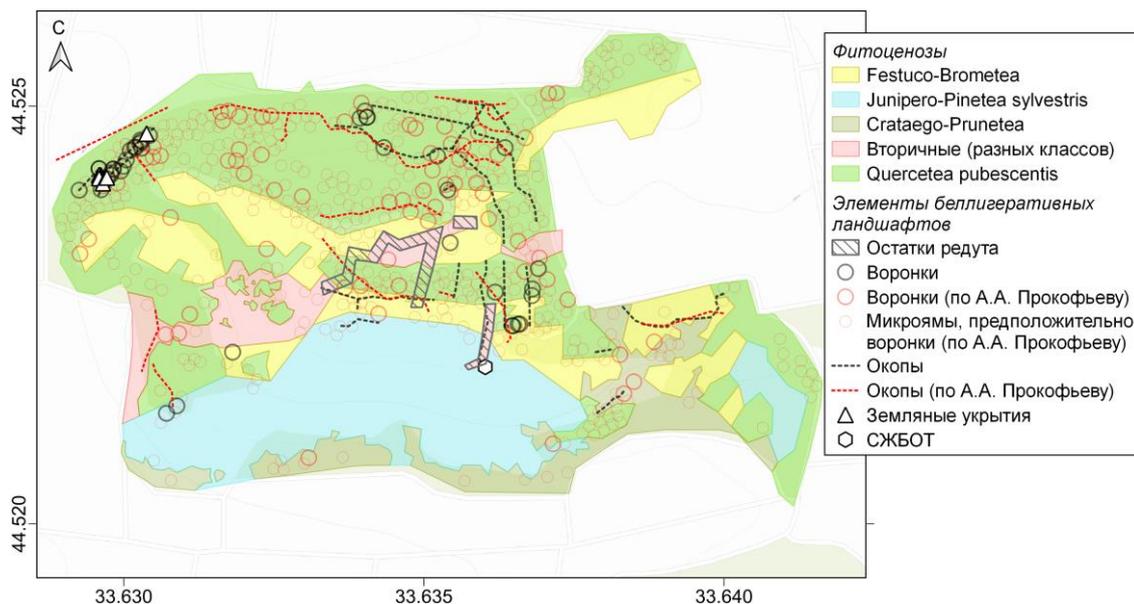


Рис. 2. Карта-схема растительного покрова и беллигеративных ландшафтов холма Канробера
СЖБОТ – сборная железобетонная пулеметная трехамбразурная огневая точка

На склонах северной экспозиции с хорошо развитыми коричневыми почвами доминируют лесные сообщества, в составе древостоя отмечены *Carpinus orientalis* Mill. и *Quercus pubescens* Willd., реже встречаются *Acer campestre* L., *Cornus mas* L., *Sorbus torminalis* (L.) Crantz. Для подлеска типичны *Ligustrum vulgare* L., *Euonymus verrucosus* Scop., *Hippocrepis emerus* subsp. *emeroides* (Boiss. & Spruner) Lassen, *Rosa canina* L., *Viburnum lantana* L., *Juniperus deltoides* R. P. Adams. Травянисто-кустарниковый ярус представлен *Ruscus aculeatus* L., *Hedera taurica* (Hibberd) Carrière, *Lapsana communis* subsp. *intermedia* (M. Bieb.) Hayek, *Clinopodium vulgare* L., *Physospermum cornubiense* (L.) DC., *Asparagus verticillatus* L., *Carex halleriana* Asso, *Dictamnus gymnostylis* Steven, *Ornithogalum ponticum* Zahar., *Aegonychon purpureocaeruleum* (L.) Holub, *Carex flacca* subsp. *serrulata* (Spreng.) Greuter, *Galium mollugo* L., *Laser trilobum* (L.) Borkh., *Teucrium chamaedrys* L. и др. Из охраняемых видов, кроме можжевельника дельтовидного и иглицы, произрастают *Anacamptis pyramidalis* (L.) Rich., *Cephalanthera damasonium* (Mill.) Druce, *Colchicum umbrosum* Steven, *Crocus angustifolius* Weston, *Galanthus plicatus* M. Bieb., *Himantoglossum caprinum* (M. Bieb.) Spreng., *Limodorum abortivum* (L.) Sw., *Paeonia daurica* Andrews, *Scilla bifolia* L.

На западном, восточном склонах и на вершине холма распространены лесостепные ландшафты. В лесных фитоценозах сомкнутость древостоя снижается, по сравнению с сообществами северных склонов. В древесном ярусе на восточном склоне местами доминирует *Quercus pubescens*, единично произрастает *Pistacia mutica* Fisch. et C. A. Mey. В кустарниково-травянистом ярусе часто встречается *Jasminum fruticans* L. На обширных полянах этих склонов отмечены петрофитные сообщества с участием многолетних злаков – *Bothriochloa ischaetum* (L.) Keng, *Festuca valesiaca* Gaudin, *Koeleria brevis* Steven, *Melica taurica* K. Koch и ковылей. Разнотравье представлено *Convolvulus cantabrica* L., *Crupina vulgaris* Cass., *Ephedra distachya* L., *Eryngium campestre* L., *Fumana procumbens* (Dunal) Gren. & Godr., *Linum tenuifolium* L., *Muscari neglectum* Guss. ex Ten., *Onosma cinerea* Schreb., *Phlomis herba-venti* subsp. *pungens* (Willd.) Maire ex DeFilipps, *Salvia aethiopsis* L., *Salvia nemorosa* L., *Sanguisorba minor* subsp. *balearica* (Nyman) Muñoz Garm. & C. Navarro и др. В этих сообществах вывлено более половины охраняемых видов территории: *Anacamptis pyramidalis*, *Centaurea caprina* Steven, *Crocus pallasii* Goldb., *Iris pumila* L., *Neotinea tridentata* (Scop.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase, *Orchis militaris* L. subsp. *stevenii* (Rchb. f.) B. Baumann

et al., *O. purpurea* Huds., *O. punctulata* Steven ex Lindl., *O. simia* Lam., *Paronychia cephalotes* (M. Bieb.) Besser, *Stipa capillata* L., *S. lessingiana* subsp. *brauneri* Pacz., *S. zaleskii* subsp. *pontica* (P. A. Smirn.) Tzvelev, *S. pulcherrima* K. Koch, *S. ucrainica* P. A. Smirn., *Verbascum chaixii* subsp. *orientale* Hayek. Здесь обнаружены редкие виды флоры Крыма, известные только из окрестностей Севастополя – *Helianthemum ledifolium* subsp. *lasiocarpum* (Jacques & Héring) Nyman и *Bellevalia lipskyi* (Misch.) Wulff. (Красная..., 2018).

На скальных породах верхней юры и на слабо развитых щебнистых почвах южных и юго-западных склонах холма Канробера распространены разреженные сообщества с участием *Juniperus excelsa* M. Bieb. и *J. deltoides*, реже наблюдаются *Jasminum fruticans*, *Paliurus spina-christi* Mill. В составе травянистого яруса на юго-западных склонах доминирует *Asphodeline lutea* (L.) Rchb., на склонах южных румбов в травянистом покрове отмечены *Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng, *Convolvulus cantabrica* L., *Ephedra distachya* L., *Silene wolgensis* (Hornem.) Otth, *Teucrium chamaedrys* L. *Teucrium polium* L., *Thymus* spp. и ковыли. Типичны однолетние эфемерные виды – *Bombycilaena erecta* (L.) Smoljan., *Crupina vulgaris* Cass., *Medicago monspeliaca* (L.) Trautv., *Noccaea perfoliata* (L.) Al-Shehbaz, *Orlaya daucoides* (L.) Greuter, *Lomelosia micrantha* (Desf.) Greuter & Burdet, *Sideritis montana* L., *Trifolium campestre* Schreb., *T. scabrum* L., *Xeranthemum cylindraceum* Sm. и др. К охраняемым видам с узкой эколого-ценотической амплитудой относятся приуроченные к открытым каменистым склонам и выходам конгломератов *Asphodeline lutea*, *Astracantha arnacantha* (M. Bieb.) Podlech subsp. *arnacantha* и *Helianthemum ledifolium* subsp. *lasiocarpum*. Встречаются обычные компоненты высокооможжевеловых сообществ – *Hippocrepis ciliata* Willd., *Iris pumila*, *Paronychia cephalotes*, *Stipa capillata*, *S. lessingiana* subsp. *brauneri* и *S. zaleskii* subsp. *pontica*.

В нижних частях южных и юго-западных склонов и по балкам распространены кустарниковые сообщества с преобладанием *Paliurus spina-christi* и участием *Pyrus elaeagrifolia* Pall., *Padellus mahaleb*, *Rosa* spp. Травянистый ярус составляют главным образом рудеральные виды *Dasypyrum villosum* (L.) P. Candargy, *Erodium cicutarium* (L.) L'Hér., *Hordeum bulbosum* L., *Nigella damascena* L., *Papaver rhoeas* L. и многие другие; единично встречаются представители коренных фитоценозов – *Ornithogalum pyrenaicum* L., *Asphodeline lutea*, *Eryngium campestre*, *Sanguisorba minor* subsp. *balearica*. Из охраняемых видов в этих сообществах отмечены группы *Anacamptis pyramidalis* с высокой локальной численностью.

На западном и восточном склонах выявлены серийные сообщества неустановленного генезиса (рис. 2) и образовавшиеся на месте посадок миндаля, современных укусов и рекреационных полян. Наиболее нарушенными являются фитоценозы в нижней части склона на востоке, где нами в 2021 году был отмечен покос травы. В их составе преобладают однолетние рудеральные виды: *Cerastium glomeratum* Thuill., *Geranium dissectum* L., *G. molle* L., *Holosteum umbellatum* L., *Lamium purpureum* L., *Myosotis arvensis* (L.) Hill, *Senecio vernalis* Waldst. & Kit. и др. В этих сообществах практически отсутствуют типичные степанты, но при этом выявлена самая высокая численность узкорегionalного крымского эндемика *Bellevalia lipskyi*. Однако, как известно, бельвалия Липского, зачастую, является единственным сохраняющимся видом природной флоры распаханых участков (Красная..., 2018). Кроме того, в разных частях холма Канробера в составе вторичных фитоценозов произрастают такие раритетные виды как *Anacamptis morio* subsp. *caucasica* (K. Koch) H. Kretzschmar, Eccarius & H. Dietr., *Astracantha arnacantha* subsp. *arnacantha*, *Stipa lessingiana* subsp. *brauneri* и *S. pulcherrima*.

Фауна. На территории представлен лесостепной широтнозональный зоокомплекс (Атлас, 2003; Подгородецкий, 1988), что определило особенности разнообразия фауны, сведения о которой не являются полными из-за недостаточной изученности всех групп животных. Среди млекопитающих отмечены каменная куница (*Martes foina* Erxleben, 1777), белка (*Sciurus vulgaris* (Linnaeus, 1758)), лисица обыкновенная (*Vulpes vulpes* (Linnaeus, 1758)), заяц-русак (*Lepus europaeus* Pallas, 1778), белогрудый еж (*Erinaceus concolor* Martin, 1838), обыкновенная слепушонка (*Ellobius talpinus* Pallas, 1770), буроzubка (*Sorex* sp. Linnaeus, 1758). Зимой зарегистрированы многочисленные следы косуль (*Capreolus capreolus* (Linnaeus,

1758)) и кабанов (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758), на протяжении периода исследований наблюдали норы барсуков (*Meles meles* (Linnaeus, 1758)).

Орнитофауна представлена в основном гнездящимися и мигрирующими видами, которые входят в состав различных экологических групп, в основном лесостепного биотопа («разреженная древесная растительность (дубовые и можжевельниковые редколесья) в сочетании с открытыми участками») (Бескаравайный, 2012). По предварительным данным она насчитывает не менее 20 видов птиц, ядро орнитокомплекса составляют широко распространенные виды, связанные с древесно-кустарниковой растительностью – сойка (*Garrulus glandarius* (Linnaeus, 1758)), ворона серая (*Corvus cornix* Linnaeus, 1758), синица большая (*Parus major* Linnaeus, 1758), чиж *Spinus spinus* (Linnaeus, 1758), черный дрозд (*Turdus merula* Linnaeus, 1758), деряба (*Turdus viscivorus* Linnaeus, 1758), сорока (*Pica pica* (Linnaeus, 1758)), дятел пестрый (*Dendrocopos major* (Linnaeus, 1758)), зяблик (*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758), а также птицы открытых биотопов: жаворонок хохлатый (*Galerida cristata* (Linnaeus, 1758)) и степной (*Melanocorypha calandra* (Linnaeus, 1766)), сорокопуд (*Lanius minor* Gmelin, 1788), удод (*Upupa epops* Linnaeus, 1758), полевой конек (*Anthus campestris* (Linnaeus, 1758)) и др. Основу гнездового комплекса скальных и грунтовых обрывов южного склона составляют обыкновенная пустельга (*Falco tinnunculus* Linnaeus, 1758), сизый голубь (*Columba livia* J. F. Gmelin, 1789), ворон (*Corvus corax* Linnaeus, 1758) и горихвостка (*Phoenicurus phoenicurus* (Linnaeus, 1758)). Некоторые виды используют территорию холма как кормовые угодья, в период миграции отмечены свыше десяти видов, в том числе шурка золотистая (*Merops apiaster* Linnaeus, 1758), чиж (*Spinus spinus* (Linnaeus, 1758)) и перепел (*Coturnix coturnix* (Linnaeus, 1758)), однако их высокая численность наблюдалась крайне редко.

К пресмыкающимся относятся ящерица прыткая (*Lacerta agilis tauridica* Suchow, 1926), ящерица Линдхольма (*Darevskia lindholmi* (Szczerebak, 1962)), желтопузик безногий (*Pseudopus apodus* (Pallas, 1775)), гадюка степная (*Vipera renardi* (Christoph, 1861)), медянка обыкновенная (*Coronella austriaca* Laurenti, 1768), полоз леопардовый (*Zamenis situla* (Linnaeus, 1758)), полоз желтобрюхий (*Dolichophis caspius* (Gmelin, 1789)) и уж обыкновенный (*Natrix natrix* (Linnaeus, 1758)).

Энтомофауна представлена видами, характерными для ненарушенных территорий, в ее составе встречаются редкие членистоногие: сольпуга южнорусская (*Galeodes araneoides* (Pallas, 1772)), усач большой дубовый (*Cerambyx cerdo* Linnaeus, 1758), бражник южномолочайный крымский (*Hyles nicaea orientalis* (Austaut, 1905)), подалирий (*Iphiclides podalirius* (Linnaeus, 1758)), дыбка степная (*Saga pedo* (Pallas, 1771)) и богомол обыкновенный (*Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758)).

Природоохранная ценность и историко-культурное значение. Согласно результатам проведенных исследований, изученная территория соответствует основным критериям природоохранной ценности перспективного ООПТ. Холм Канробера имеет, несомненно, высокое значение для охраны многих раритетных видов растений и животных, а также лекарственных, медоносных и декоративных растений, промысловых видов животных (табл. 1). Установлено, что в Красную книгу Севастополя занесено 35 видов сосудистых растений и 11 видов животных, из них соответственно, 9 и 4 охраняются на федеральном уровне (Красная..., 2018, Приложение..., 2020). На территории обнаружены места обитания редких видов фауны, таких как барсук, отмечены миграционные скопления копытных. Очевидно, что холм служит островным природным комплексом, обеспечивая пространственные связи между структурными элементами природоохранной сети Севастополя (Шик, 2017).

Средообразующее значение холма обусловлено особенностями его геологического строения. Вершина холма, сложенная карстующимися мраморовидными породами, обеспечивает пополнение запасов подземных вод региона, аккумулируя атмосферные осадки. К геологическим особенностям холма относится скопление у его подножия глыб древних осадочных, метаморфических, магматических пород – «балаклавских эрратических валунов», открытых В. В. Аршиновым в 1910 году (Аршинов, 1910). Петрографический анализ показал их существенное отличие от горных пород, которые в настоящее время слагают окрестные

горы. О направлении их вероятного сноса высказывались разные точки зрения (Лучицкий, 1939; Слудский 1953), в настоящее время считается, что валуны являются продуктами размыва и перемещения отложений нижнемеловой олистостромы, выходы которой находятся к юго-востоку от холма Канробера (Лысенко, 2016). Их сохранение в границах перспективного ООПТ имеет научное значение, поскольку позволяет проводить сравнительный геологический анализ пород крупного массива суши, погребенного ныне под толщей морских отложений палеогена-неогена-квартера в акватории Черного моря (Лысенко, 2016).

Таблица 1

Природоохранная и историко-культурная ценность перспективного памятника природы
регионального значения «Холм Канробера»

| Критерий | Таксон/объект |
|---|---|
| Наличие охраняемых видов флоры | 35 видов и подвидов, занесенных в Красную книгу г. Севастополя (2018) |
| Наличие охраняемых видов фауны | 11 видов и подвидов, занесенных в Красную книгу г. Севастополя (2018) |
| Хозяйственно ценные виды флоры | Лекарственные, медоносные, декоративные виды растений |
| Хозяйственно ценные виды фауны | Охотничье-промысловые виды животных (заяц, лиса, кабан, косуля) |
| Постоянные или регулярные массовые скопления животных | В зимний период миграционные скопления и убежище копытных (кабаны, косули), кормовые угодья птиц |
| Уровень ландшафтного разнообразия | Разнообразие ландшафтных выделов |
| Наличие и распространение малонарушенных природных комплексов | Лесостепной ландшафт Крымского Предгорья, слабонарушенные природные комплексы среди хозяйственно преобразованной территории (виноградники) |
| Наличие исчезающих, редких и уникальных сообществ и экосистем | Высокоможжевеловые редколесья, петрофитные степи, сложность и неоднородность геологического строения |
| Средообразующая ценность | Зона аккумуляции осадков, экологический коридор |
| Редкие и уникальные объекты неживой природы | Островной выход верхнеюрских пород среди нижнемеловых отложений, «балаклавские эрратические валуны» |
| Историко-культурные объекты | Фортификационные сооружения, следы каменоломни |
| Научное значение | Модельный полигон для комплексных исследований биологического и ландшафтного разнообразия, биотопов раритетных видов, репрезентативный участок для изучения сукцессий растительного покрова, датирования почв |

Помимо высокой природоохранной ценности, территория, предлагаемая для заповедания, имеет историко-культурное значение. Во время Крымской войны (октябрь 1854 года) на вершине холма турецкими войсками под командованием английских офицеров был сооружен «редут № 1», представлявший собой земляное укрепление в виде замкнутого многогранника. В ходе знаменитого Балаклавского сражения 13 (25) октября 1854 года, редут был основным местом битвы и был взят русскими войсками во главе с генералом К. Р. Семякиным, что вынудило бежать гарнизоны остальных редуты циркумвалационной

линии интервентов (Ченнык, 2014). В период Великой Отечественной войны холм под наименованием «высота 164,6» являлся одной из ключевых позиций Главного рубежа обороны Севастополя 1941–1942 годы на стыке 1-го и 2-го секторов обороны, которые прикрывали дорогу Ялта – Севастополь. До настоящего времени на многих участках сохранились линии окопов, доты и стрелковые ячейки, а также воронки до 5 м в диаметре, образовавшиеся после третьего штурма Севастополя и сильных боев с 13 по 16 июня 1942 года (рис. 2) (Иванов, 2003).

Оценка антропогенных факторов и современное состояние объекта. Анализ данных по истории природопользования показал, что холм и прилегающая территория, как и вся Балаклавская долина того времени, использовались для ведения сельского хозяйства. Здесь находились наделы эпохи раннего средневековья, а при генуэзской колонизации Крыма (XIV–XV века) на этих землях, входивших в округ Херсонеса (Херсона), было развито земледелие (Шик, 2019). В этот период холм являлся пограничным объектом между землями княжества Феодоро (Мангупского) и владениями подданных генуэзской крепости Чембало (современный г. Балаклава), его склоны использовали, вероятно, для пастбищ, заготовки древесины и садовых рогулек-чаталов. В середине XIX (Ченнык, 2014) и XX веков во время обеих героических оборон Севастополя на холме были вырублены массивы леса для обустройства укреплений, в первую очередь засек устройства землянок и блиндажей, а также для обогрева и приготовления пищи. После Крымской войны территория у подножия холма была вновь освоена под виноградники, при этом границы распаханых участков и лесных массивов на карте-верстовке 1890 года и фотографиях В. Н. Клембовского за 1904 год (Альбом..., 1904), совпадают с их современным нахождением. В конце XIX – начале XX веков к востоку от холма Канробера функционировала каменоломня А. Христопуло, располагавшаяся рядом с земельными наделами Клементины Капитанаки (Иванов, 2003). После Великой Отечественной войны на западном склоне холма были заложены сады миндаля.

В соответствии с классификацией факторов антропогенного воздействия на природные комплексы Крыма (Выработка..., 1999), сведениями о природопользовании и динамике растительного покрова, были выявлены три основных периода, во время которых осуществлялось негативное воздействие на фитоценозы. Выявлено 14 ключевых факторов такого воздействия, отличающихся степенью и интенсивностью (табл. 2). Основные преобразования природных комплексов и растительного покрова холма приходятся на время военных действий XIX и XX веков. Беллигеративные ландшафты, как известно, формируются в результате взрывов, пожаров, строительства оборонительных сооружений, рубок для военных целей и некоторых косвенных факторов, ведущих к гибели растений, изменению структуры фитоценозов, нежелательной смене лесобразующих пород, сокращению видового разнообразия и др. (Мартынова, Джансузьян, 2006; Калов, Вагапова, 2013).

Таблица 2

Периодизация факторов негативного воздействия на фитоценозы перспективного памятника природы «Холм Канробера»

| Фитоценоз | Временной период, годы / Факторы негативного воздействия* | | |
|------------------------------------|--|-----------------|--------------------------------------|
| | 1854–1856 | 1941–1944 | 2004–2021 |
| <i>Quercetea pubescentis</i> | 2, 6, 9, 10, 13 | 2, 4, 6, 9, 13 | 4, 5, 8, 10, 13, 14 |
| <i>Junipero-Pinetea sylvestris</i> | 13 | 2, 6 | 1, 8, 12, 13, 14 |
| <i>Festuco-Brometea</i> | 2, 4, 6, 13 | 2, 4, 6, 12, 13 | 1, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14 |

Примечание к таблице. * Факторы: 1 – биологическое загрязнение, 2 – военные загрязнения, 3 – выпас, 4 – изъятие и перемещение почв и грунта, 5 – микросвалки, 6 – пожары, 7 – распашка, 8 – рекреация, 9 – рубки, 10 – сбор растений и уничтожение животных, 11 – сельскохозяйственные загрязнения, 12 – воздействие транспорта, 13 – фактор беспокойства, 14 – эрозия.

Современный период воздействия на природные комплексы холма приходится на начало XXI в., что связано с интенсификацией воздействия транспорта на природные комплексы в Крыму и рост рекреационных нагрузок (Вопросы..., 1999). Наибольшую опасность для перспективной ООПТ представляют регулярные тренировки мотоциклистов и незаконные раскопки на местах сражений Крымской и Великой Отечественной войн. Уничтожение под колесами мотоциклов почвенного и растительного покрова на крутых склонах холма привело к образованию эрозионных борозд и рытвин глубиной до 0,5 м (рис. 3). Кроме этого, на его территории наблюдаются пожары, поджог травы, выпас скота, неконтролируемый сбор первоцветов, а также покосы. Вблизи подножия холма находятся виноградники ООО «Золотая Балка», где применяются ядохимикаты, складированы обрезанные лозы, выкорчевываются древесные насаждения, что повышает уровень негативного воздействия на природные комплексы и биоту перспективного ООПТ (рис. 3).



Рис. 3. Негативное воздействие на природные комплексы холма Канробера

а – расширение дорожно-тропиночной сети после проезда мотоциклистов; б – недавно проложенная дорога; в, г – деградация почвенно-растительного покрова на участках проезда мототехники; д – эрозионные борозды рядом с популяцией *Asphodeline lutea*; е – следы раскопок в лесу.

Анализ космических снимков Google Earth показал, что еще в 2004 году на холме Канробера дорожно-тропиночная сеть была выражена слабо (рис. 4). Однако в 2009 году она уже покрывала значительную часть территории с сообществами класса *Festuco-Brometea* (рис. 2), а также участки на вершине, западном и восточном склонах, причем на последнем появился подъезд для автомобилей. Начиная с 2010 года существенно увеличивается протяженность троп на южном склоне в сообществах класса *Junipero-Pinetea sylvestris*, что связано, по-видимому, с формированием регулярных мотомаршрутов. Маломощный почвенный покров со скудной растительностью этого склона наиболее подвержен эрозии, признаки которой выражены вдоль всех мотомаршрутов. В 2017 году на восточном склоне холма была проложена новая дорога к редуту, доступная для проезда автомобилей (рис. 4). Она проходит главным образом по участкам с фитоценозами *Festuco-Brometea*, а также вторичным фитоценозам на остатках фортификационных сооружений.

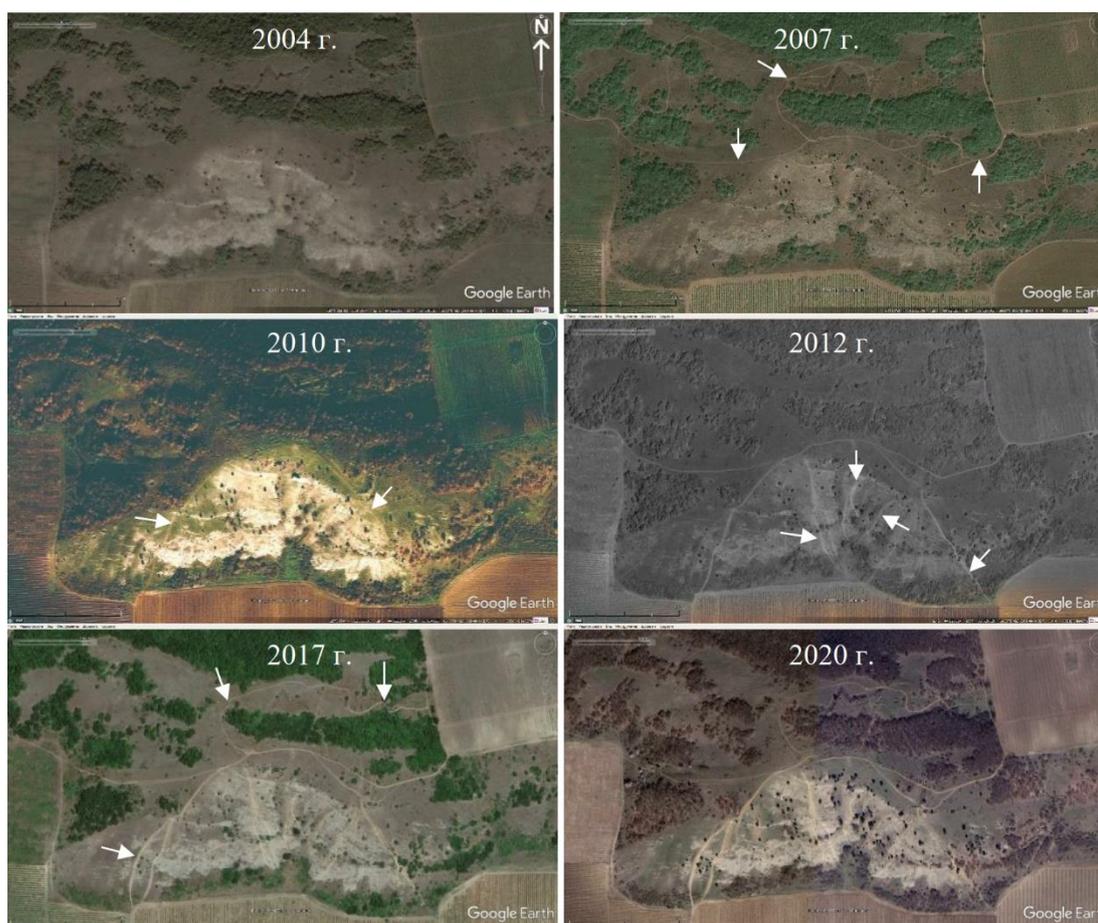


Рис. 4. Изменение дорожно-тропиночной сети холма Канробера (2004–2020)

Стрелками обозначены наиболее существенные нарушения почвенно-растительного покрова, отсутствовавшие в предшествующий период.

Тем не менее, несмотря на длительную историю природопользования и выявленные факторы негативного влияния (табл. 2), в целом для холма Канробера характерны средне- и слабонарушенные сообщества (табл. 3), что соответствует ранее описанным закономерностям при восстановлении растительного покрова беллигеративных ландшафтов (Голеусов, 2012; Рябинина, 2019). В границах всех фортификационных сооружений XIX и XX вв. и других элементов беллигеративных ландшафтов холма Канробера видовой состав сообществ близок к природному. В центральной части редута на земляных валах и окружающих рвах отмечено

восстановление типичных лесных сообществ *Quercetea pubescentis*, а в северной – травянистых сообществ *Festuco-Brometea* (рис. 3).

Таблица 3
Состояние растительных сообществ холма Канробера (по данным 2018–2021 годов)

| Синтаксон | Состояние и степень*, балл |
|------------------------------------|----------------------------|
| <i>Quercetea pubescentis</i> | 5, 4, 3 |
| <i>Junipero-Pinetea sylvestris</i> | 5, 2, 1 |
| <i>Crataego-Prunetea</i> | 5, 4 |
| <i>Festuco-Brometea</i> | 4, 3, 2, 1 |

Примечание к таблице. * Степень нарушенности и состояние растительных сообществ указаны в баллах: 5 – естественное, не нарушенное; 4 – удовлетворительное; 3 – среденарушенное; 2 – сильно нарушенное, сообщества способны к восстановлению первоначального облика; 1 – сообщества уничтожены, или преобразованы во вторичные.

Наиболее выраженные нарушения коренных фитоценозов, их видового разнообразия и структуры, зафиксированы на западном и восточном склонах холма в сообществах *Festuco-Brometea*, что связано с рекреацией, пожарами и покосом (табл. 3, рис. 2). На некоторых участках южного склона в фитоценозах *Junipero-Pinetea sylvestris* и в травянистом ярусе лесных сообществ *Quercetea pubescentis* на северных склонах растительный покров уничтожен полностью, но признаки восстановительной сукцессии практически отсутствуют, т.к. все нарушения произошли относительно недавно и продолжаются в настоящее время (раскопки, транспорт, рекреация). Таким образом, развитие разных направлений регионального и международного туризма возможно при условии нормирования рекреационной нагрузки и соблюдения режима особой охраны природных комплексов. Необходимо учитывать, что увеличение доступности для автотранспорта будет способствовать дальнейшей деградации естественных сообществ и культурно-исторических памятников.

Кроме того, перспективный памятник природы «Холм Канробера» представляет интерес для исследования антропогенной и природной сукцессий растительных сообществ разных классов. Сравнительный анализ исторических и современных фотографий показал (рис. 6), что кроме антропогенных, на исследуемой территории происходят природные сукцессии. Так, за почти столетний период произошло заметное сокращение площади полян и увеличение участков, покрытых лесной растительностью. В 1854 году на холме Канробера преобладали кустарники, уже в 1904 году значительная часть холма была занята древесной растительностью, которая к 2021 году стала занимать большую часть северного, восточного и западного склонов. Анализ фотоснимков также показал существенное увеличение высоты древостоев за исследуемый период, в том числе можжевельника высокого. Выявленные изменения косвенно подтверждаются составом и структурой краевых участков леса, где сохраняются растения полян, способные переносить затенение, и появляются теневыносливые виды, возрастной состав древесных пород колеблется от ювенильных до молодых генеративных растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексного обследования территории перспективного объекта природоохранной сети города Севастополя – памятника природы регионального значения «Холм Канробера», получены данные, подтверждающие наличие уникальных природных и историко-культурных комплексов и объектов. Выявлено, что на его территории сохраняются слаборазрушенные лесостепные ландшафты Крымского Предгорья среди хозяйственно-преобразованной территории (виноградники). Растительный покров



Рис. 5. Примеры восстановления фитоценозов на элементах беллигеративных ландшафтов холма Канробера
a – *Quercetea pubescentis* на земляном вале редута; *б* – группа особей *Anacamptis pyramidalis* в воронке.

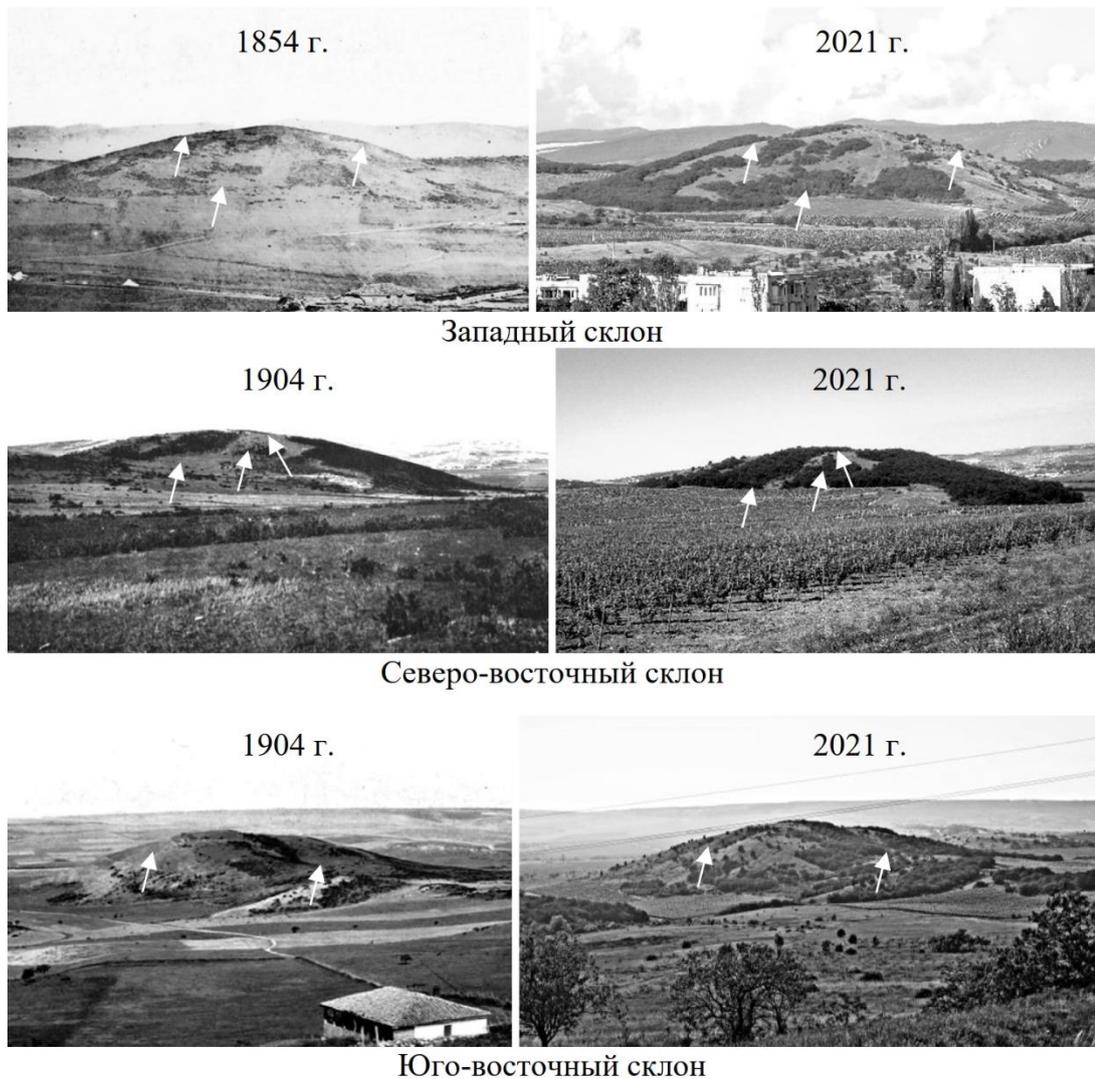


Рис. 6. Фотографии холма Канробера с 1854 по 2021 год
Стрелками обозначены участки наиболее выраженных изменений растительного покрова.

формируют лесные, редколесные, кустарниковые сообщества и петрофитные степи, относящиеся к классам *Quercetea pubescentis*, *Junipero-Pinetea sylvestris*, *Crataego-Prunetea*, *Festuco-Brometea* с характерными фаунистическими комплексами.

Изученная территория соответствует основным критериям перспективного ООПТ, имеет природоохранное, научное и историко-культурное значение. К регионально охраняемым относится 35 видов растений и 11 видов животных, из которых в Красную книгу РФ занесено 9 и 4 вида, соответственно; здесь отмечены лекарственные, медоносные и декоративные растения, промысловые виды животных, геологические уникамы, фортификационные сооружения XIX и XX веков. Холм имеет важное средообразующее значение и как экологический коридор.

Выявлено три основных периода и 14 ключевых факторов воздействия на фитоценозы холма Канробера, описаны результаты негативного воздействия в настоящее время. Установлено, что длительность освоения территории и антропогенная нагрузка, возросшая в последнее десятилетие, привели к нарушению почвенного и растительного покрова, однако в целом преобладают средне- и слабонарушенные сообщества. Показано, что новый заповедный объект может служить модельным полигоном для изучения геологической структуры региона, сукцессии растительного покрова после длительных этапов природопользования и мониторинга состояния популяций редких и охраняемых видов растений и животных. Высокая историко-культурная ценность позволяет рекомендовать холм Канробера для развития разных направлений регионального и международного туризма при условии нормирования рекреационной нагрузки и соблюдения режима особой охраны природных комплексов.

Благодарности. Авторы выражают признательность к. б. н., с. н. с. лаборатории фиторесурсов ФИЦ ИнБЮМ О. А. Шахматовой за помощь в проведении полевых исследований.

Статья подготовлена по теме государственного задания ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», № 121030100028-0.

Список литературы

- Альбом «Виды полей сражений Крымской кампании 1854–1855 гг.» / по фотографиям полковника В. Н. Клембовского. – СПб.: Издание Музея Севастопольской обороны; Эксп. загот. гос. бумаг, 1904.
- Аршинов В. В. К геологии Крыма. [I – О вулканических туфах окрестностей г. Балаклавы; II – Об эрратических камнях окрестностей Балаклавы]. – М.: Типолитография Т-ва И. Н. Кушнерев и К^о, 1910. – 16 с. (Известия Петрографического института Lithogaea. Вып. 1).
- Атлас «Автономная республика Крым». – Симферополь: 2003. – 79 с.
- Бескаравайный М. М. Птицы Крыма. – Симферополь: 2012. – 336 с.
- Важов В. И. Агроклиматическое районирование Крыма // Труды Государственного Никитского ботанического сада. – 1977. – Т. 71. – С. 92–120.
- Выработка приоритетов: новый подход к сохранению биоразнообразия в Крыму. – Вашингтон: BSP, 1999. – 257 с.
- Голуусов П. В. Особенности воспроизводства фитоценозов и почв лесных экосистем, нарушенных в период Курской битвы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2012. – № 15 (134). – С. 124–128.
- Голубев В. Н. Редкие сообщества и их охрана (общие принципы) // Бюллетень главного ботанического сада. – 1983. – Вып. 127. – С. 65–70.
- Драган Н. А. Почвенные ресурсы Крыма. Научн. монография. – Симферополь: Доля, 2004. – 208 с.
- Дулицкий А. И. Млекопитающие: История, состояние, охрана, перспективы. – Симферополь: СОНАТ, 2001. – 208 с.
- Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2019 год. Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя (Севприроднадзор) (Электронный ресурс). Режим доступа: <http://ecosev.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya/doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhrane-okruzhayushchej-sredy-goroda-sevastopolya/3158-ezhegodnyj-doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhrane-okruzhayushchej-sredy-goroda-sevastopolya-za-2019-god>
- Иванов В. Б. Балаклава 2500 лет. – Киев: 2003. – 400 с.

- Калов Р. О., Вагапова А.Б. Беллигеративные комплексы как генетический тип техногенных ландшафтов // Проблемы региональной экологии. – 2013. – № 6. – С. 137–139.
- Красная книга города Севастополя / [Отв. ред. Довгаль И. В., Корженевский В. В.] – Калининград: ООО Издательский дом «РОСТ-ДООАФКЛ», 2018. – 432 с.
- Кукушкин О. В., Трофимов А. Г., Турбанов И. С., Слodgeвич В. Я. Герпетофауна города Севастополь (юго-западный Крым): видовой состав, зоогеографическая характеристика, ландшафтно-зональное распределение, современное состояние и охрана // Трансформация экосистем. – 2019. – № 4. – С. 72–129.
- Лучицкий В. И. Петрография Крыма // Петрография СССР. – Вып. 8. – М.: Изд-во АН СССР, 1939. – 98 с.
- Лысенко В. И. Геологическая история развития мелового вулканизма в Юго-Западном Крыму по результатам изучения терригенно-вулканогенной толщи верхнего альба Балаклавской котловины // Пространство и время. – 2016. – Т. 11, вып. № 1. – 31 с. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/geologicheskaya-istoriya-razvitiya-melovogo-vulkanizma-v-yugo-zapadnom-krymu-po-rezultatam-izucheniya-terrigenno-vulkanogennoy-tolschi/viewer> (просмотрено 15.08.2021).
- Лысенко В. И. Новые данные о валунах Балаклавской котловины (Юго-Западный Крым) // Геологический журнал. – 2003. – № 4. – С. 40–47.
- Мартынова М. И., Джансузьян Р. Р. Лесные послевоенные ландшафты Абхазии. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2006. – № 2 (134). – С. 94–98.
- Отчет о НИР «Схема развития и размещения ООПТ города Севастополя». – Ростов-на-Дону, 2017. – 145 с.
- Подгородецкий П. Д. Крым. Природа. – Симферополь: Таврия, 1988. – 192 с.
- Приложение к приказу Минприроды России от 24.03.2020 N 162. Перечень объектов животного мира, занесённых в Красную книгу Российской Федерации. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 24.03.2020 № 162 «Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации». – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202004020020?index=0&rangeSize=1> (просмотрено 15.08.2021).
- Рябинина Н. О. Историко-культурные ландшафты и развитие природоохранного каркаса степей юго-востока Русской равнины // Вопросы степеведения. – 2019. – № 15. – С. 273–276.
- Слудский А. Ф. О происхождении валунов окрестностей Балаклавы // Изд. Крым. Отд. ВГО СССР. – 1953. – Вып. 2. – С. 39–45.
- Степаницкий В. Б., Сеницын М. Г. Методические рекомендации по организации особо охраняемых природных территорий регионального значения. Справочное пособие. – Красноярск: Проект ПРООН/ГЭФ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона», 2008. – 140 с.
- Ченнык С. В. От Балаклавы к Инкерману. – Севастополь: Ченнык С. В., 2014. – 304 с.
- Шик Н. В. О межевых границах Чембальского консульства и княжества Феодоро в юго-восточной части Балаклавской долины // Сборник материалов XVII Международной научной конференции «Лазаревские чтения. Причерноморье: история, политика, география, культура», Севастополь, 2–4 октября 2019 г. – С. 24–25.
- Шик Н. В. О необходимости сохранения экологических коридоров на территории большого Севастополя // Системы контроля окружающей среды – 2017: Тезисы докладов Международной научно-технической конференции, Институт природно-технических систем. – 2017. – С. 139.
- Экологическая доктрина Российской Федерации. – Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/901826347> (просмотрено 15.08.2021).
- Euro+Med PlantBase: The information resource for Euro-Mediterranean plant diversity. 2005–2021. – Режим доступа: URL: <http://www.emplantbase.org/home.html> (просмотрено 15.08.2021).
- Mucina L. et al. Vegetation of Europe: Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen and algal communities // Applied Vegetation Science. – 2016. – 464 p.

Shik N. V., Bondareva L. V., Milchakova N. A., Alexandrov V. V. Environmental, historical and cultural value of the Canrobert Hill, the perspective natural monument of Sevastopol // *Ekosistemy*. 2021. Iss. 28. P. 29–43.

The goal of the research was to assess the current state of natural complexes, to identify anthropogenic threats and to characterize the nature conservation, historical and cultural value of the perspective natural monument “Canrobert Hill”. The study was carried out between 2000 and 2021. For the first time, the flora and fauna of the territory was characterized, indicating the rare species; the vegetation was described and mapped. It was found out that weak- and medium-disturbed phytocenoses prevail within the boundaries of a perspective protected area. The research highlights that 35 plant and 11 animal species are protected regionally, of which 9 plant and 4 animal species are included in the Red Data Book of the Russian Federation. Moreover, medicinal, melliferous and ornamental plants, and commercial species of animals are identified. The area is characterized by geological unique features as the remains of fortifications of the 19th and 20th centuries are preserved. The hill is important for replenishing the groundwater of the region and, besides, it is an ecological corridor. In general, the studied area has high conservation, scientific, historical and cultural value and meets the main criteria of a perspective protected area. The anthropogenic impact on the territory over the past 150 years was analyzed; it was revealed that it was the most intensively used in three periods: 1854–1855, 1941–1942 and 2004–2021. The main disturbances of soil and vegetation cover and 14 key factors of negative impact on phytocenoses were identified.

It is proved that the new protected area can serve as a model testing ground for studying the geological structure of the region, the vegetation succession after anthropogenic disturbances and for monitoring the state of populations of rare and protected species of plants and animals. A perspective natural monument “Canrobert Hill” has significant historical and cultural value, therefore, it can be recommended to develop different types of regional and international tourism there, provided that the recreational load is regulated and the regime of protection of natural complexes is observed.

Key words: biological diversity, plant communities, nature management, protected areas, Crimea, belligerative landscapes, long-term changes.

Поступила в редакцию 15.08.21

Принята к печати 19.11.21

УДК 502.75:581.526.52(470.40)

Динамика галофитной растительности памятника природы «Даниловская солонцовая поляна» (Малосердобинский район, Пензенская область)

Новикова Л. А.¹, Васюков В. М.², Горбушина Т. В.³, Пчелинцева Т. И.⁴, Бибасова Г. З.¹

¹ Пензенский государственный университет

Пенза, Россия

la_novikova@mail.ru

² Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН

Тольятти, Россия

vvasjukov@yandex.ru

³ Государственный природный заповедник «Приволжская лесостепь»

Пенза, Россия

astrawa@yandex.ru

⁴ Средняя общеобразовательная школа села Чунаки

Чунаки, Пензенская область, Россия

Галофитная растительность лесостепной зоны Европейской России приурочена к северным границам распространения засоленных почв и поэтому требует к себе особого внимания исследователей. Она недостаточно изучена в южных районах Пензенской области, к которым относится и Малосердобинский район. В последние годы здесь обнаружено три солонца: «Даниловская солонцовая поляна», «Чунакская солонцовая поляна» и «Корзовая лощина», но только первый охраняется в качестве памятника природы. Исследования на «Даниловской солонцовой поляне» проводились в период с 2009 по 2017 год, и ее растительность была описана трижды (2009, 2012 и 2017 гг.), что позволяет проследить ее динамику в условиях заповедности. При первом описании в 2009 году растительность Даниловской солонцовой поляны наполовину (по 50 %) состояла из галофитной и негалофитной фракции. Среди галофитной растительности галофитные луга (30 %) несколько преобладали над галофитными степями (20 %). Спустя 3 года, в 2012 году, описание растительности «Даниловской солонцовой поляны» было повторено. Характер растительности участка несколько изменился. Площадь, занятая галофитной растительностью, увеличилась до 60 %. Изменился и ее характер, так как стали преобладать галофитные степи (35 %) над галофитными лугами (25 %). Спустя еще 5 лет, в 2017 году, растительность «Даниловской солонцовой поляны» была описана в третий раз. Галофитная растительность еще более увеличила свое участие в структуре растительного покрова до 73,6 %. Но за этот период значительно увеличилось участие галофитных лугов (53,6 %), по сравнению с галофитными степями (20 %). Основное направление динамики галофитной растительности в условиях режима абсолютной заповедности на «Даниловской солонцовой поляне» – мезофитизация (смена галофитных степей галофитными лугами), и силватизация (постепенное зарастанием поляны кустарниками и молодыми деревьями).

Ключевые слова: галофитные степи, галофитные луга, демутация, Пензенская область, Россия.

ВВЕДЕНИЕ

Галофитная растительность лесостепной зоны Европейской России приурочена к северным границам распространения засоленных почв и поэтому требует к себе особого внимания исследователей. Изучение галофитной флоры и растительности Среднего Поволжья (Юрицина, 2014; Лысенко, 2016, 2020) осуществляется преимущественно на эколого-флористических принципах.

Несмотря на то, что изучение галофитной растительности в Пензенской области имеет давнюю историю (Литвинов, 1981, 1891; Келлер, 1901, 1951; Спрыгин, 1998; Солянов, 2001; Васюков, 2004; Новикова и др., 2009, 2019а; Чистякова, Дюкова, 2010; Вьяль и др., 2013; Васюков, Саксонов, 2020), изучена она недостаточно. В настоящее время она изучается (Новикова и др., 2014–2021) на основе классификации по доминантному принципу.

Наиболее сохранившиеся объекты на засоленных почвах имеются в южных районах Пензенской области, в том числе в Малосердобинском районе (Новикова, Панькина, 2012,

2013). В последние годы здесь обнаружено три солонца: «Даниловская солонцовая поляна», «Чунакская солонцовая поляна» и «Корзовая лощина», но только первый охраняется в качестве памятника природы.

В настоящее время в Малосердобинском районе Пензенской области имеются только два памятника природы: «Даниловская солонцовая поляна» и «Комаровский резерват головчатки Литвинова», организованные в 2000 году (Постановление Законодательного собрания Пензенской области № 587-25/2 ЗС от 14.07.2000). Третий участок «Ключевской бор», утвержденный Решением Пензенского исполкома № 205 от 29.07.1991, теперь лишен этого статуса Постановлением правительства Пензенской области от 16 апреля 2008 года № 248-пП.

Цель работы – изучить динамику галофитной растительности в условиях заповедности на юге Пензенской области на примере памятника природы «Даниловская солонцовая поляна».

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Урочище «Даниловская солонцовая поляна» впервые обнаружена А. А. Соляновым (2001) совместно с местным краеведом Т. И. Пчелинцевой (2017) в 80-е годы XX века. Участок находится в 1,5 км к юго-западу от с. Чунаки на территории Лопатинского лесхоза Даниловского лесничества (кв. № 15) на северной окраине выработанного торфяника «Гай» (площадь – 5 га). Объект располагается близ водораздела рек Чернавки и Чунаки (Волжский бассейн) и представляет собой вытянутую поляну в лиственном лесу (порослевая дубрава), через которую по центру проходит дорога.

Памятник природы «Даниловская солонцовая поляна» назвали так потому, что территория, на которой он располагается, принадлежит Даниловскому лесничеству, хотя он находится ближе к селу Чунаки (1,5 км), чем к с. Даниловка (около 15 км).

Исследования на «Даниловской солонцовой поляне» проводились в период с 2009 по 2017 год, и ее растительность была описана трижды (2009, 2012 и 2017 гг.), что позволяет проследить ее динамику в условиях заповедности.

С целью изучения растительности на каждом из участков были заложены по два взаимно-перпендикулярных профиля разной протяженности: один располагался с запада на восток, а другой – с севера на юг. Описание пробных площадей размером 4 м² (2×2 м) проводилось в типичных условиях по традиционной методике (Ипатов, 2000; Ипатов, Мирин, 2000). На каждой площадке указывалось общее проективное покрытие (ОПП) и проективное покрытие отдельных видов (ПП). Всего было сделано 60 геоботанических описаний и разработана эколого-фитоценотическая классификация растительности на доминантной основе (Новикова, 2014–2021; Горяев, 2019; Горяев, Кораблев, 2020).

Латинские названия видов растений приводятся, в основном, по сводке С. К. Черепанова (1995) с дополнениями по Plants of the World online (POWO: <http://powo.science.kew.org/>)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Во флоре Даниловской солонцовой поляны (Малосердобинский район, Пензенская область) выявлено 273 вида сосудистых растений, из них 6 редких, включенных в Красную книгу Пензенской области (2013): *Artemisia santonica* L., *Galatella linosyris* (L.) Rchb. f., *Galatella rossica* Novopokr., *Jacobaea erucifolia* (L.) G. Gaertn. et al. [*Senecio erucifolius* L.], *Limonium donetzicum* Klokov [*L. tomentellum* auct. non (Boiss.) Kuntze], *Silaum silaus* (L.) Schinz et Thell. (Васюков и др., 2019).

При первом описании растительности Даниловской солонцовой поляны в 2009 году площади (рис. 1), занимаемые галофитной и негалофитной фракциями, были равны (по 50 %) (табл. 1). Среди галофитной растительности галофитные луга (30 %) несколько преобладали над галофитными степями (20 %).



Рис. 1. Общий вид памятника природы «Даниловская солонцовая поляна» (Пензенская область) в 2009 году (фото Л. А. Новиковой)

Таблица 1

Динамика галофитной растительности памятника природы «Даниловская солонцовая поляна» (Малосердобинский район, Пензенская область)

| Таксоны | Название таксона | 2009 г., площадь, % | 2012 г., площадь, % | 2017 г., площадь, % | Общая площадь, % |
|----------------------------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| <i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> |
| Тип | Галофитная растительность | 50 | 60 | 73,6 | 78,4 |
| Подтип | Галофитные степи | 20 | 35 | 20 | 42,4 |
| Группа формаций | Галофитные степи многолетне­разнотравные | 20 | 35 | 20 | 12,8 |
| III формация | Льновидносолонечниковая с <i>Galatella linosyris</i> | 20 | 35 | 20 | 12,8 |
| 12 ассоциация | <i>Galatella linosyris</i> | 20 | 25 | 6,7 | 7,2 |
| 13 ассоциация | <i>Poa angustifolia-Galatella linosyris</i> | | 5 | | 1,6 |
| 14 ассоциация | <i>Calamagrostis epigeios- Galatella linosyris</i> | | 5 | 6,7 | 2,4 |
| 15 ассоциация | <i>Carex praecox-Galatella linosyris</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| 16 ассоциация | <i>Silaum silaus-Galatella linosyris</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| Подтип | Галофитные луга | 30 | 25 | 53,6 | 36,0 |
| Группа формаций | Галофитные луга многолетне­разнотравные | 30 | 25 | 53,6 | 28,8 |
| VII формация | Морковниковая с <i>Silaum silaus</i> | 10 | 5 | 19,9 | 11,2 |
| 21 ассоциация | <i>Silaum silaus</i> | 10 | 5 | 3,3 | 2,4 |
| 22 ассоциация | <i>Festuca valesiaca-Silaum silaus</i> | | | 3,3 | 1,6 |
| 24 ассоциация | <i>Carex praecox-Silaum silaus</i> | | | 6,7 | 1,6 |
| 25 ассоциация | <i>Beckmannia eruciformis-Silaum silaus</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| 26 ассоциация | <i>Alopecurus arundinaceus- Silaum silaus</i> | | | 3,3 | 0,8 |

Таблица 1 (продолжение)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|--|----|----|------|------|
| VIII формация | Русскосолонечниковая с <i>Galatella rossica</i> | 10 | 20 | 33,7 | 12,0 |
| 27 ассоциация | <i>Galatella rossica</i> | 10 | | 3,3 | 1,6 |
| 28 ассоциация | <i>Agrostis capillaris-Galatella rossica</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| 29 ассоциация | <i>Bromopsis inermis-Galatella rossica</i> | | 5 | | 0,8 |
| 30 ассоциация | <i>Calamagrostis epigeios-Galatella rossica</i> | | 15 | 6,7 | 3,2 |
| 31 ассоциация | <i>Carex praecox-Galatella rossica</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| 33 ассоциация | <i>Alopecurus arundinaceus-Galatella rossica</i> | | | 6,7 | 1,6 |
| 34 ассоциация | <i>Carex melanostachya-Galatella rossica</i> | | | 10,4 | 2,4 |
| IX формация | Наибольшеподорожниковая с <i>Plantago maxima</i> | 10 | | 0 | 8,0 |
| 39 ассоциация | <i>Agrostis capillaris-Plantago maxima</i> | 10 | | | 0,8 |
| | Негалофитная травяная растительность | 50 | 40 | 26,4 | 21,6 |
| Тип | Ксерофильная многолетняя травянистая растительность (степи) | | 15 | 6,6 | 7,2 |
| Подтип | Мезоксерофильная многолетняя травянистая растительность (луговые степи) | | 15 | 6,6 | 7,2 |
| Группа формаций | Луговые степи многолетнеразнотравные | | | 6,6 | 6,4 |
| XI формация | Понтийскопольные с <i>Artemisia pontica</i> | | | 6,6 | 5,6 |
| 46 ассоциация | <i>Artemisia abrotanum-Calamagrostis epigeios-Artemisia pontica</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| 49 ассоциация | <i>Calamagrostis epigeios-Artemisia pontica</i> | | 10 | 3,3 | 2,4 |
| 50 ассоциация | <i>Carex praecox-Artemisia pontica</i> | | 5 | | 0,8 |

Таблица 1 (продолжение)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|---|----|----|------|------|
| Тип | Мезофильной многолетней травянистой растительности (луга) | 50 | 25 | 16,5 | 12,8 |
| Подтип | Ксеромезофильной многолетней травянистой растительности (остепненные луга) | 40 | 25 | 9,9 | 10,4 |
| Группа формаций | Остепненные луга корневищнозлаковые | | 25 | 9,9 | 10,4 |
| XIII формация | Наземновейниковая с <i>Calamagrostis epigeios</i> | 10 | | 6,6 | 5,6 |
| 53 ассоциация | <i>Artemisia pontica-Calamagrostis epigeios</i> | | 5 | | 0,8 |
| 54 ассоциация | <i>Galatella linosyris-Calamagrostis epigeios</i> | 10 | 5 | | 2,4 |
| 55 ассоциация | <i>Silaum silaus-Calamagrostis epigeios</i> | | | 3,3 | 1,6 |
| 56 ассоциация | <i>Glechoma hederacea-Calamagrostis epigeios</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| XIV формация | Раннеосоковая с <i>Carex praecox</i> | 30 | | 3,3 | 4,0 |
| 57 ассоциация | <i>Veronica spicata-Carex praecox</i> | | 5 | | 0,8 |
| 58 ассоциация | <i>Galatella linosyris-Carex praecox</i> | 10 | 5 | | 0,8 |
| 59 ассоциация | <i>Silaum silaus-Carex praecox</i> | 20 | | 3,3 | 1,6 |
| 60 ассоциация | <i>Galatella rossica-Carex praecox</i> | | 5 | | 0,8 |
| Подтип | Мезофильной многолетней травянистой растительности (настоящие луга) | 10 | | 6,6 | 2,4 |
| Группа формаций | Настоящие луга многолетнеразнотравные | 10 | | 3,3 | 1,6 |
| XVI формация | Гибридноклеверная с <i>Amoria hybrida</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| 62 ассоциация | <i>Alopecurus arundinaceus-Galatella rossica-Amoria hybrida</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| XVII формация | Полевоосотовая с <i>Sonchus arvensis</i> | 10 | | | 0,8 |
| 63 ассоциация | <i>Festuca valesiaca-Galatella rossica-Sonchus arvensis</i> | 10 | | | 0,8 |

Таблица 1 (продолжение)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|--|---|---|-----|-----|
| Группа формаций | Настоящие луга однолетне-разнотравные | | | 3,3 | 0,8 |
| XVIII формация | Птицегорцевая с <i>Polygonum aviculare</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| 64 ассоциация | <i>Elytrigia repens</i> - <i>Polygonum aviculare</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| Тип | Гигрофильная болотная растительность | | | 3,3 | |
| Подтип | Низинные болота | | | 3,3 | 1,6 |
| Группа формаций | Корневищнозлаковые низинные болота | | | 3,3 | 0,8 |
| XX формация | Болотноситняговая с <i>Eleocharis palustris</i> | | | 3,3 | 0,8 |
| 66 ассоциация | <i>Eleocharis palustris</i> | | | 3,3 | 0,8 |

Галофитные луга были представлены исключительно многолетне-разнотравной группой формаций с доминированием *Silaum silaus*, *Galatella rossica* и *Plantago maxima* (*Silaum silaus*, *Galatella rossica*, *Agrostis capillaris*-*Galatella rossica*), которые занимали по 10 % площади по периферии поляны.

Галофитные степи также относились к многолетне-разнотравной группе формаций с доминированием исключительно *Galatella linosyris*, образуя также чистую *Galatella linosyris* ассоциацию (20 %), расположенную в центральной части поляны.

На остальной территории участка (50 %) получила распространение луговая растительность, которая была представлена преимущественно остепненными (40 %) и настоящими (10 %) лугами.

Остепненные луга включают одну ассоциацию с доминированием *Calamagrostis epigeios* (*Galatella linosyris*-*Calamagrostis epigeios* – 10 %) и две ассоциации с доминированием *Carex praecox* (*Galatella linosyris*-*Carex praecox* – 10,0 % и *Silaum silaus*-*Carex praecox* – 20 %).

Настоящие луга имеют только одну ассоциацию с доминированием *Sonchus arvensis* (*Festuca valesiaca*-*Galatella rossica*-*Sonchus arvensis* – 10 %), которая, хотя и развивается в центральной части участка, встречается исключительно при значительном нарушении растительного покрова.

Спустя 3 года, в 2012 году, описание растительности «Даниловской солонцовой поляны» было повторено. Характер растительности участка несколько изменился. Галофитная растительность расширилась по площади и уже занимала 60 %. Изменился и ее характер, так как галофитные степи (35 %) стали преобладать над галофитными лугами (25 %).

Галофитные степи по-прежнему располагались в центральной части поляны в условиях наибольшего засоления и наименьшего увлажнения почв. Они относятся также только к одной многолетне-разнотравной группе формаций с доминированием *Galatella linosyris* и включают 3 ассоциации (*Galatella linosyris* → *Poa angustifolia*-*Galatella linosyris* → *Calamagrostis epigeios*-*Galatella linosyris*), которые образуют экологический ряд по увлажнению. Причем по площади преобладает чистая первая ассоциация (25 %), а две другие с содоминированием ксеромезофитных злаков занимают по 5 % площади.

Галофитные луга, как правило, располагаются по краю поляны и также относятся к одной многолетнеэрозивной группе формаций с доминированием *Galatella rossica* (20 % площади) и состоят из трех ассоциаций (*Bromopsis inermis-Galatella rossica* → *Calamagrostis epigeios-Galatella rossica* → *Carex praecox-Galatella rossica*) и другой с доминированием *Silaum silaus* (5 % площади). Первая формация (*Galatella rossica*) имеет распространение преимущественно по периферии участка, практически на границе с лесом. В ней преобладает *Bromopsis inermis-Galatella rossica* (10 %), а две другие ассоциации (*Bromopsis inermis-Galatella rossica* и *Carex praecox-Galatella rossica*) занимают по 5 % площади.

При повторном описании в 2012 году негалофитная растительность занимает сравнительно меньшую площадь (40 %) и существенно отличается своим составом. И хотя в структуре незасоленной растительности по-прежнему преобладают остепненные луга (25 %), здесь впервые появляются луговые степи (15 %).

Остепненные луга очень разнообразны и включают 5 ассоциаций (по 5 % площади), которые относятся к двум формациям с доминированием *Calamagrostis epigeios* (*Artemisia pontica-Calamagrostis epigeios* → *Galatella linosyris-Calamagrostis epigeios*) и *Carex praecox* (*Veronica spicata-Carex praecox* → *Galatella linosyris-Carex praecox* → *Galatella rossica-Carex praecox*).

Особо следует отметить появление луговых степей с доминированием *Artemisia pontica*, причем *Calamagrostis epigeios-Artemisia pontica* (10 %) по площади преобладает над *Carex praecox-Artemisia pontica* (5 %).

Спустя еще 5 лет в 2017 году растительность «Даниловской солонцовой поляны» была описана в третий раз. Галофитная растительность еще более увеличила свое участие в структуре растительного покрова до 73,6 %. Но за этот период значительно увеличилось участие галофитных лугов (53,6 %) по сравнению с галофитными степями (20 %).

Галофитные луга очень разнообразны и принадлежат двум формациям с доминированием *Silaum silaus* (5 ассоциаций) и *Galatella rossica* (6 ассоциаций). Особенно возросло участие последней формации.

Первая формация с доминированием *Silaum silaus* (19,9 %) включает 5 ассоциаций (*Silaum silaus* → *Festuca valesiaca-Silaum silaus* → *Carex praecox-Silaum silaus* → *Beckmannia eruciformis-Silaum silaus* → *Alopecurus arundinaceus-Silaum silaus*), образующих экологический ряд по увлажнению. Наибольшее распространение имеет *Carex praecox-Silaum silaus* ассоциация (10 %), а остальные занимают по 5 % площади.

Вторая формация с доминированием *Galatella rossica* имеет еще большее распространение (33,7 %) и занимает более влажные местообитания. Она состоит из 6 ассоциаций (*Galatella rossica* → *Agrostis capillaris-Galatella rossica* → *Calamagrostis epigeios-Galatella rossica* → *Carex praecox-Galatella rossica* → *Alopecurus arundinaceus-Galatella rossica*), которые формируют экологический тренд по мере увеличения влажности почв. Особенно хорошо представлена *Alopecurus arundinaceus-Galatella rossica*, занимающая 10,4 %; далее следуют *Calamagrostis epigeios-Galatella rossica* и *Alopecurus arundinaceus-Galatella rossica* ассоциации, покрывающие по 6,6 %, а остальные (*Galatella rossica*, *Agrostis capillaris-Galatella rossica*, *Carex praecox-Galatella rossica*) дают только по 3,3 %.

Незасоленной растительности в 2012 году оказалось значительно меньше (26,4 %), но она очень разнообразна и включает не только степную (6,6 %) и луговую (16,5 %), но и даже болотную (3,3 %) растительность.

Степная растительность представлена многолетнеэрозивными луговыми степями с доминированием *Artemisia pontica*. Луговые степи занимают незасоленные и сухие местообитания. К ним относятся две ассоциации: *Artemisia abrotanum-Calamagrostis epigeios-Artemisia pontica* и *Calamagrostis epigeios-Artemisia pontica*, которые занимают по 3,3 % площади.

Луговая растительность образует остепненные (9,9 %) и настоящие (6,6 %) луга. Луга развиваются на незасоленных почвах с разной степенью увлажнения. Остепненные луга относятся к корневищной группе формаций и дают две формации с доминированием *Calamagrostis epigeios* (*Silaum silaus-Calamagrostis epigeios*, *Glechoma hederacea-*

Calamagrostis epigeios) и *Carex praecox* (*Silaum silaus-Carex praecox*), которые имеют площадь по 3,3 %. Настоящие луга представлены очень плохо и включают одну ассоциацию с доминированием *Amoria hybrida* (3,3 %).

Болотная растительность представлена также одной корневищнозлаковой ассоциацией с доминированием *Eleocharis palustris* (3,3 %) и развивается в условиях избыточного увлажнения на незасоленных почвах. Эта растительность особенно ярко отражает за последние годы не только мезофитизацию растительного покрова, но и ее заболачивание.

Несмотря на то, что участие галофитной растительности постепенно увеличивается (2009 – 50 %; 2012 – 60 %; 2017 – 73,6 %), ее состав постепенно меняется. Сначала в 2012 году увеличивалось участие галофитных степей (с 20 до 35 %) преимущественно с доминированием *Galatella linosyris*. Далее в 2017 году начинает значительно возрастать представленность галофитных лугов (с 25 до 53,6 %) с доминированием *Silaum silaus* (19,9 %) и особенно *Galatella rossica* (33,7 %), причем роль последнего вида постоянно возрастает. Вероятно, это можно объяснить постоянным зарастанием поляны кустарниками и даже отдельными деревьями (сильватизация) в отсутствие антропогенного фактора в условиях режима абсолютной заповедности. Кроме этого, большое значение имеет гидротация сообществ в связи с повышением уровня подземных вод при нарушении водного стока, расположенного рядом болота «Гай» (выработанный торфяник), которое постепенно восстанавливает свою структуру.

Таким образом, в условиях абсолютной заповедности наблюдается усиление доли галофитной растительности с 50 % в 2009 году; далее до 60 % в 2012 году и до 73,4 % – в 2017, причем меняется ее состав. Сначала, в 2012 году увеличивалось участие галофитных степей, а потом в 2017 году – галофитных лугов (мезофитизация). Это связано с тем, что в условиях режима абсолютной заповедности наблюдается постепенное зарастание поляны кустарниками (сильватизация) и нарушен сброс воды в болоте.

Этапы демутиации галофитной растительности на этом участке отличаются от других участков Малосердобинского района (Чунакская солонцовая поляна и Корзовая лощина).

В условиях засоленных и сухих почв формируются только многолетнеэрозивные галофитные степи (*Galatella linosyris*), а однолетнеэрозивные и полукустарничковые полностью отсутствуют.

В условиях засоленных и влажных почв образуются только многолетнеэрозивные (*Taraxacum bessarabicum*, *Silaum silaus*, *Galatella rossica*, *Plantago maxima*) галофитные луга, а однолетнеэрозивные и дерновиннозлаковые отсутствуют. Кроме того, в отличие от неверкинских (Новикова, 2019б) и сердобских (Новикова, 2021) для малосердобинских солонцов нами не выявлен этап корневищнозлаковых галофитных лугов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во флоре Даниловской солонцовой поляны (Малосердобинский район, Пензенская область) выявлено 273 вида сосудистых растений, из них 6 редких, включенных в Красную книгу Пензенской области (2013): *Artemisia santonica*, *Galatella linosyris*, *Galatella rossica*, *Jacobaea erucifolia*, *Limonium donetzicum*, *Silaum silaus* (Васюков и др., 2019).

Галофитная растительность на «Даниловской солонцовой поляне» занимает только 55,2 % от общей площади, причем в ней преобладают многолетнеэрозивные галофитные луга (39,4 %) и участвуют многолетнеэрозивные галофитные степи (25,4 %).

Растительность «Даниловской солонцовой поляне» находится на промежуточном этапе формирования как галофитных степей, так и галофитных лугов. Уже исчезли начальные этапы (однолетнеэрозивные галофитные степи и луга) их формирования и еще не появились конечные (полукустарничковые степи и дерновиннозлаковые галофитные луга). Кроме того, в отличие от неверкинских и сердобских солонцов Пензенской области полностью отсутствует стадия корневищнозлаковых галофитных лугов.

Основное направление динамики галофитной растительности в условиях режима абсолютной заповедности на «Даниловской солонцовой поляне» – мезофитизация (смена

галофитных степей галофитными лугами) и сивльватизация (постепенное зарастание поляны кустарниками и молодыми деревьями).

Исследования выполнены в рамках государственного задания Института экологии Волжского бассейна РАН – филиала Самарского федерального исследовательского центра РАН: № АААА-А17-117112040039-7, № АААА-А17-117112040040-3.

Список литературы

- Васюков В. М. Растения Пензенской области (конспект флоры). – Пенза: Изд-во ПГУ, 2004. – 184 с.
- Вяль Ю. А., Новикова Л. А., Карпова Г. А., Лойко Н. Г. Особенности генезиса гипноносных луговых почв в условиях Пензенской области // Нива Поволжья. – 2013. – № 2 (27). – С. 21–26.
- Васюков В. М., Саксонов С. В. Конспект флоры Пензенской области / Флора Волжского бассейна. Т. IV. – Тольятти: Анна, 2020. – 211 с.
- Горяев И. А. Закономерности распространения галофитной растительности на Прикаспийской низменности // Ботанический журнал. – 2019. – Т. 104, № 7. – С. 60–77.
- Горяев И. А., Кораблев А. П. Галофитная растительность на западе Прикаспийской низменности // Сибирский экологический журнал. – 2020. – Т. 27, № 5. – С. 623–631.
- Ипатов В. С. Методы описания фитоценоза. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. – 55 с.
- Ипатов В. С., Мирин Д. М. Описание фитоценоза. Методические рекомендации: учеб.-метод. пособ. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2000. – 55 с.
- Келлер Б. А. Из области черноземно-ковыльных степей // Ботанико-географические исследования в Сердобском уезде Саратовской губернии. – Казань: Типо-литография. Имп. Казан. ун-та, 1903. – 130 с.
- Келлер Б. А. Растительность засоленных почв СССР // Избранные сочинения. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – С. 177–211.
- Красная книга Пензенской области Ч. 1. Грибы, лишайники, мхи, сосудистые растения. 2-е изд. / сост.: А. И. Иванов и др.; [Под ред. А. И. Иванова]. – Пенза: ИПК Пензенская правда, 2013. – 300 с.
- Красная книга Российской Федерации: Растения и грибы / сост.: Р. В. Камелин и др. [Под ред. Ю. П. Трутнева и др.]. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 591 с.
- Литвинов Д. И. Геоботанические заметки. Флора европейской России. – М.: Изд-во Имп. МОИП, 1881. – Вып. 3. – С. 3–123.
- Литвинов Д. И. Отчет действительного члена Общества // Годичный отчет Имп. МОИП за 1893–1894 гг. – М., 1894. – С. 10.
- Лысенко Т. М. Растительность засоленных почв Поволжья в пределах лесостепной и степной зон. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. – 329 с.
- Лысенко Т. М. Новые данные о галофитной растительности Пензенской области // Разнообразие растительного мира. – 2020. – № 3 (6). – С. 28–36.
- Новикова Л. А. Состояние и изученность степной растительности в Пензенской области // Флористические и геоботанические исследования в европейской России: материалы Всерос. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения А. Д. Фурсаева (г. Саратов, 21–24 августа 2000 г.). – Саратов: Изд-во Саратов. гос. пед. ин-та, 2000. – С. 103–106.
- Новикова Л. А., Разживина Т. Б. Галофильный компонент флоры Пензенской области в региональной Красной книге // Раритеты флоры Волжского бассейна: тез. Рос. науч. конф. (г. Тольятти, 12–15 октября 2009 г.). – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2009. – С. 153–162.
- Новикова Л. А. Охрана разнообразия степей на западных склонах Приволжской возвышенности // Раритеты флоры Волжского бассейна: докл. участников II Росс. науч. конф. (г. Тольятти, 11–13 сентября 2012 г.). – Тольятти: Кассандра, 2012. – С. 175–179.
- Новикова Л. А., Панькина Д. В. Формирование растительности на засоленных участках в южных районах Пензенской области // Мониторинг экологически опасных промышленных объектов и природных экосистем: сб. статей VI Всерос. науч.-практ. конф. (г. Пенза, август 2012 г.). – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – С. 82–86.
- Новикова Л. А., Панькина Д. В. Характеристика засоленных участков в Малосердобинском и Сердобском районах Пензенской области // Вестник Мордовского гос. ун-та. – 2013. – Вып. 3–4. – С. 21–26.
- Новикова Л. А., Вяль Ю. А., Леонова Н. А., Панькина Д. В. Геоботаническая характеристика «Ольшанского солонца» в Пензенской области // Нива Поволжья. – 2014. – № 1(30). – С. 49–56.
- Новикова Л. А., Кулагина Е. Ю., Миронова А. А., Панькина Д. В. Ценный ботанический объект в Пензенской области («Мансуровский солонец») // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Сер. Естественные науки. – 2016. – № 2. – С. 19–29.
- Новикова Л. А., Миронова А. А., Васюков В. М. Характеристика флоры и растительности «Келлеровского солонца» (Пензенская область) // Нива Поволжья. – 2017. – № 4(45). – С. 109–114.
- Новикова Л. А., Коряжкина К. В., Полумордвинов О. А. Биологическое разнообразие «Карноварского солонца» (Неверкинский район, Пензенская область) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Сер. Естественные науки. – 2020. – № 3 (31). – С. 27–41.

Новикова Л. А. Перспективные охраняемые степные территории в Пензенской области // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов: материалы XIII междунар. ландшафтной конф. (г. Воронеж, 14–17 мая 2018 г.) в 2 т. – Воронеж: Истоки, 2018а. – Т. 2. – С. 269–275.

Новикова Л. А. Охрана галофитной растительности Пензенской области // Ботаника в современном мире: тр. XIV Съезда Русского ботанического общества и конференции (г. Махачкала, 18–23 июня 2018 г.). – Т. 2. Геоботаника. Ботаническое ресурсосведение. Интродукция растений. Культурные растения. – Махачкала: АЛЕФ, 2018б. – С. 112–114.

Новикова Л. А., Васюков В. М., Горбушина Т. В. Изученность галофитной растительности в Пензенской области // Самарский научный вестник. – 2019а. – Т. 8. № 1 (26). – С. 75–82.

Новикова Л. А., Васюков В. М., Миронова А. А. Восстановление галофитной растительности на юго-востоке Пензенской области // Нива Поволжья. – 2019б. – Вып. 1 (50). – С. 51–56.

Новикова Л. А., Васюков В. М., Горбушина Т. В., Михайлова Е. В. Трансформация галофитной растительности «Сердобского солонца» (Сердобский район, Пензенской области) // Экосистемы. – 2021. – Вып. 25. – С. 5–11. – DOI 10.37279/2414-4738-2021-25-5-11

Пчелинцева Т. И. Проблемы сохранения ценных участков растительности в Малосердобинском районе (Пензенская область) // Природное наследие России: сб. науч. ст. междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию национального заповедного дела и Году экологии в России (г. Пенза, 23–25 мая 2017 г.). – Пенза: Изд-во ПГУ, 2017. – С. 317–318.

Солянов А. А. Флора Пензенской области. – Пенза: Изд-во ПГПУ им. В.Г. Белинского, 2001. – 310 с.

Спрыгин И. И. Из области Пензенской лесостепи. Ч. 3. Степи песчаные, каменисто-песчаные, солонцеватые на южных и меловых склонах. – Пенза: Изд-во Гос. ком. по охране окружающей среды Пензенской области, 1998. – С. 9–25.

Юрицына Н. А. Растительность засоленных почв Юго-Востока Европы и сопредельных территорий. – Тольятти: Кассандра, 2014. – 164 с.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. – СПб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.

Чистякова А. А., Дюкова Г. Р. Структура почвенно-растительного покрова засоленных степных блюдец лесостепи // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. – 2010. – № 17 (21). – С. 32–38.

Plants of the World online (POWO): <http://powo.science.kew.org/>

Novikova L. A., Vasjukov V. M., Gorbushina T. V., Pchelintseva T. I., Bibasova G. Z. Dynamics of halophytic vegetation of the “Danilovskaya Solontsovaya Polyana” natural monument (Maloya Serdoba district, Penza region) // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 44–54.

Halophytic vegetation of the forest-steppe zone of European Russia is confined to the northern borders of the distribution of saline soils and, therefore, it requires special attention of researchers. It is insufficiently studied in the southern districts of Penza region, which includes Maloserdobinsky district. Three solonetzts were discovered here: “Danilovskaya solontsovaya Polyana”, “Chunakskaya Solontsovaya Polyana” and “Korzovaya Loshchina”, but only the first one was protected as a natural monument. Researches were conducted in Danilovskaya Solontsovaya Polyana from 2009 to 2017. Vegetation was described there three times (2009, 2012, 2017), therefore, it was possible to trace its dynamics in the conditions of conservation. The first research (2009) showed that vegetation of Danilovskaya Solontsovaya Polyana consisted of halophytic and nonhalophytic fractions (50 % each). At the same time, halophytic meadows (30 %) slightly prevailed over halophytic steppes (20 %). The next research of the vegetation (2012) revealed that the area occupied by halophytic vegetation increased to 60 % and halophytic steppes (35 %) began to prevail over halophytic meadows (25 %). The research made in 2017 found out that the share of halophytic vegetation rose considerably to 73.6 % and halophytic meadows increased significantly (53.6 %), compared with halophytic steppes (20 %). The main tendency of the dynamics of halophytic vegetation in protected area Danilovskaya Solontsovaya Polyana is mesophytization (replacement of halophytic steppes with halophytic meadows), and sylvatization (gradual overgrowth of the glade with shrubs and young trees).

Key words: halophytic vegetation, Penza region, Russia.

Поступила в редакцию 22.10.21

Принята к печати 19.11.21

УДК 630*114.351-035.27(470.13)

Динамика поступления надземного опада древесных растений в березово-еловом молодняке средней тайги Республики Коми

Пристова Т. А.

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН
Сыктывкар, Россия
pristova@ib.komisc.ru*

В работе представлены результаты изучения динамики поступления древесного опада за 15-летний период в лиственном молодняке послерубочного происхождения в условиях средней тайги Республики Коми. Исследования проведены в березово-еловом молодняке с составом древостоя 8Б2Е ед.С, произрастающем на месте вырубки ельника черничного типа. Установлено, что количество листового опада за исследуемые годы изменяется от 501 ± 80 до 2358 ± 349 кг/га в год. Выявлено, что количество листового опада за 15 лет возрастает в 3–5 раз. Установлено, что большая часть листового опада в исследуемом молодняке поступает в летне-осенний период. Основной тенденцией в многолетней сезонной динамике поступления листового опада является увеличение его количества в летне-осенний период и уменьшение в зимне-весенний. Установлено, что доля листьев и хвои в годичном опаде за годы исследований возрастает с 70 до 88 %, листьев березы с 42 до 62 %. Четко выраженной динамики поступления опада сосны, пихты, а также таких фракций, как ветви, семена, кора и почечные чешуи по годам не наблюдается. Выявлено, что общее количество листового опада во многом определяется его доминирующими фракциями. Корреляционный анализ показал сильную положительную связь между запасом опада и массой листьев березы, ивы и хвои ели ($r > 0,8$), низкую и среднюю – для веток, семян и прочих компонентов опада ($r < 0,5$). Показано, что ежегодная величина поступления отдельных фракций растительного опада в период с 2000 по 2014 годы довольно вариабельна. Коэффициент вариации (CV) за исследуемые годы для летне-осеннего опада составил от 6 до 27 %, для зимне-весеннего от 7 до 24 %. Полученные данные дают возможность определить динамику формирования подстилки в таежных лесных экосистемах послерубочного происхождения.

Ключевые слова: тайга, вырубка, березово-еловый молодняк, листового опада.

ВВЕДЕНИЕ

Формирование смешанных лиственно-хвойных насаждений на значительных площадях сплошных рубок стало характерной особенностью северных лесов. Антропогенное воздействие и последующее естественное лесовозобновление оказывает существенное влияние на состав и структуру лесных экосистем. В верхнем ярусе вторичных лесов преобладают осина и береза, под их пологом появляется ярус теневыносливых хвойных пород, преимущественно ели. Изучение сукцессионных процессов в смешанных лиственно-хвойных лесах важно для понимания динамики таежных лесов (Мелехов, 1954).

Количество годичного листового опада является важным показателем, отражающим процесс формирования лиственно-хвойных насаждений на месте вырубки хвойных лесов. Биогеоценотическое значение опада очень велико: от размеров поступления органического вещества на поверхность почвы, его химического состава и скорости минерализации зависит потенциальная продуктивность лесных экосистем и характер современного почвообразования (Рыжкова, 2003). Кроме того, благодаря опадению в лесных экосистемах создается определенный резерв органического вещества, который обеспечивает их устойчивость и позволяет быстро восстанавливаться после нарушений (Демаков, 2000). На величину опада древесного яруса влияют многие факторы: почвенно-климатические, погодные условия отдельных лет, участие лиственных пород (Родин, Базилевич, 1965).

Цель исследования – оценка динамики поступления древесного опада в березово-еловом молодняке послерубочного происхождения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились с 2000 по 2014 годы на базе Ляльского лесоэкологического стационара Коми НЦ УрО РАН, расположенного в Княжпогостском районе Республики Коми. Динамика поступления листового опада изучалась в березово-еловом молодняке разнотравного типа (состав древостоя 8Б2Е ед.С) на многолетнем фактическом материале в течение 15 лет в возрасте от 5 до 20 лет (рис.1 *a, b*).



Рис. 1. Березово-еловый молодняк в 2005 (*a*) и в 2014 году (*b*)

Подробная таксационная характеристика объекта исследования приведена ранее (Пристова, 2019). До вырубki на месте березово-елового молодняка произрастал ельник чернично-долгомошный с составом древостоя 8Е2Б, подроста – 10Е, в возрасте 150–190 лет. Напочвенный покров березово-елового молоднякa отличается высокой мозаичностью. На месте трелевочных волоков, в отличие от пасечных участков, развивается моховой покров в основном из сфагновых мхов за счет небольшого переувлажнения. Среди кустарничков доминируют черника и брусника, среди трав – полевица тонкая и ситник нитевидный, мхов – кукушкин лен и сфагнум. Почва – торфянисто-подзолисто-глееватая.

Сбор опада, проводился с помощью опадоуловителей размером 50×50 см в 20-кратной повторности 2 раза в год: в мае – по окончанию снеготаяния и в октябре – по завершению листопада (Родин и др., 1968). В лабораторных условиях лиственный опад разделяли по видам древесных растений (береза, ель, ива, сосна, пихта, рябина) и фракциям: листья (хвоя), ветви, семена, почки, почечные чешуи, шишки, кора и неопределяемые остатки. В листовом опаде выделено более 20 компонентов. Собранные образцы древесного опада высушивались до абсолютно-сухого состояния при 105 °С и взвешивались (Родин и др., 1968).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Листовой опад включает в себя часть компонентов древесного опада, кроме древесины стволов, растений напочвенного покрова и отмирающих корней (Родин и др., 1968). Процесс формирования опада довольно динамичен во времени и дифференцирован в пределах исследуемого насаждения. Количество листового опада, поступающего на поверхность почвы в березово-еловом молодняке, за исследуемые годы варьирует от 501 ± 80 до 2358 ± 349 кг/га в год. Установлено, что его количество к 2011 году увеличилось по сравнению с 2000 годом в 4,7 раза (рис. 2). В условиях средней тайги Республики Карелия, в похожих березово-еловых молодняках разнотравно-черничного типа послерубочного происхождения, количество древесного опада увеличилось с 224 кг/га в 12-летнем до 2090 кг/га в 38-летнем насаждении, то есть 9 раз (Егорова, 1968). По сравнению с ельниками в условиях средней тайги Республики Коми количество надземного опада в березово-еловом молодняке до 15-летнего возраста в 1,5–4 раза меньше, а в последующие периоды исследования приблизительно одинакового (Продуктивность..., 1975; Биопродукционный..., 2001).

Безусловно, количество листового опада в 2014 году выше, чем в 2000, однако, многолетняя динамика поступления опада не столь однозначна (рис. 2). Его максимальное количество в исследуемом молодняке наблюдается в 15-летнем возрасте, а минимальное – в 5-летнем. В период с 2000 по 2011 год общее количество опада увеличивается, с 2012 по 2014 годы – несколько уменьшается. Это объясняется тем, что с увеличением возраста древостоя количество опада возрастает и в стадии жердняка достигает максимума (Егорова, 1968). Определенное влияние оказывает то, что в 10–15-летнем возрасте в среднетаежных березово-еловых молодняках завершается фаза смыкания крон (Ильчуков, 2003). В связи с этим отмечается относительная стабилизация количества опада после достижения исследуемым березово-еловым молодняком 15-летнего возраста и завершения фазы смыкания крон.

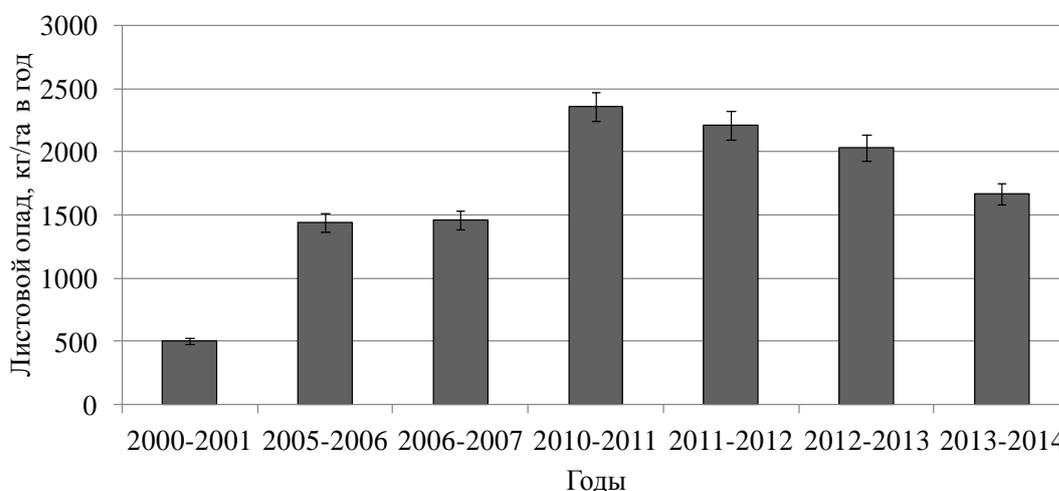


Рис. 2. Динамика изменения массы листового опада за семь лет наблюдений (2000–2014 гг.)

Количество листового опада во многом определяется его доминирующими фракциями. За исследуемый период количество листьев березы в опаде в среднем увеличилось почти в 5 раз, листьев ивы в 3 раза (рис. 3). Корреляционный анализ показал сильную положительную связь между общим запасом опада и массой листьев березы, ивы и хвои ели ($r > 0,8$), низкую и среднюю – для веток, семян и прочих компонентов опада ($r < 0,5$). Объясняется это тем, что с 2005 по 2015 год количество деревьев в древостое березово-елового молодняке увеличилось: ели в 1,5 раза, березы – в 2,5 раза, подрост ели – в 1,8 раза, березы снизилось в 1,1 раза, численность подлеска уменьшилось почти в 2 раза (Пристова, 2019). Увеличение количества

деревьев в древостое исследуемого молодняка, безусловно, влияет на рост количественных показателей опада. В то же время, определенный вклад в общее количество опада в молодняке вносят подлесочные породы, особенно ива и рябина, масса их опада за исследуемый период составляла от 130 до 240 кг/га в год. Уменьшение численности подлеска приводит к снижению доли его участия в формировании опада.

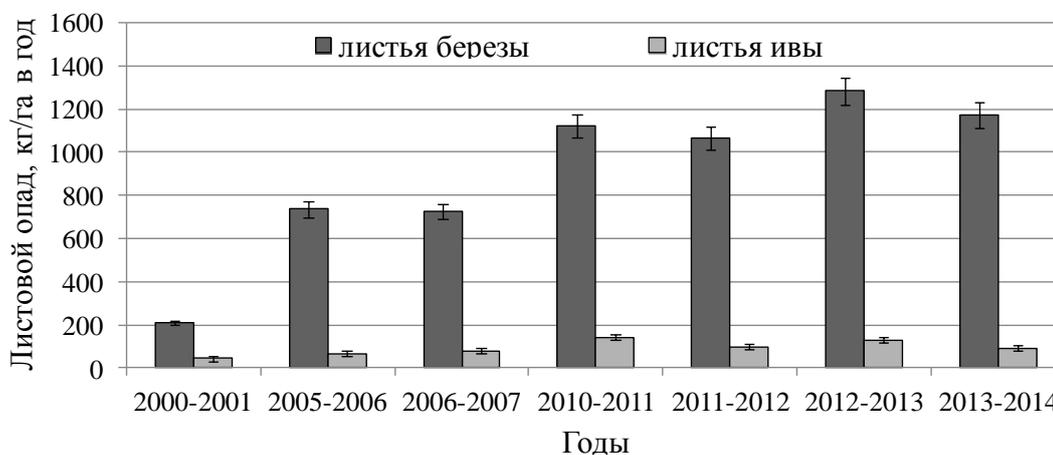


Рис. 3. Динамика поступления опада листьев березы и ивы в течение семи сезонов (2000–2014 гг.)

Динамика поступления листового опада проявляется не только в увеличении его количества по мере роста и формирования исследуемого насаждения, но и в изменении соотношения отдельных фракций. Доля листьев и хвои в опаде за годы исследований возрастает с 70 до 88 % от его общего количества за год. Листья березы являются доминирующим компонентом опада, их содержание в общей массе годовичного опада за 15 лет увеличивается с 42 до 62 % (рис. 4). Соотношение опадающих листьев ивы, напротив, снижается с 9 до 5 % от общей массы годовичного опада. Доля хвои ели за исследуемые годы в годовичном опаде изменяется неравномерно. Так, с 2000 по 2011 год ее содержание в годовичном опаде увеличилось до 27 %, а к 2014 году – снизилось до 4 %. Хвоя сосны поступает в опад неравномерно и ее масса не превышает 60 кг/га в год. Содержание хвои пихты в опаде незначительно и в среднем составляет 1–2 кг/га в год. Для опада ветвей, семян, коры и почечных чешуй четко выраженной динамики по годам не наблюдается.

Видовой состав древесных пород-эдификаторов и количество листового опада взаимосвязаны между собой: чем больше число лиственных пород в древостое, тем больше опада. Это отражается в соотношении листовой и хвойной фракции в составе древесного опада (Боев, Боев, 2017). За исследуемые годы в березово-еловом молодняке листовая фракция опада, включающая в себя листья березы, осины, ивы и рябины составляет от 52 до 82 %, хвойная фракция, в которую входит опад хвои ели, сосны и пихты – от 5 до 28 % от общего количества опада. В условиях Карелии в составе опада березово-елового молодняка также доминирует листовая фракция, доля которой достигает 92 % (Боев, Боев, 2017). Листовая фракция в опаде до 2012 года составляет около 60 %, а к 2014 году – увеличивается до 82 % от общего количества годового опада. Для хвойной фракции, напротив, до 2012 года наблюдается увеличение до 28 %, а к 2014 году – снижение до 5 % от общей массы годовичного опада.

В листовом опаде, как правило, выделяют две части: активную и неактивную. К активной относятся листья (хвоя), почечные чешуи, семена, соцветия, к неактивной – ветви, шишки, кора (Карпачевский, 1981). Соотношение неактивной фракции листового опада к активной по мере роста и формирования древостоя изменяется от 1:2 до 1:7. Увеличение доли активной

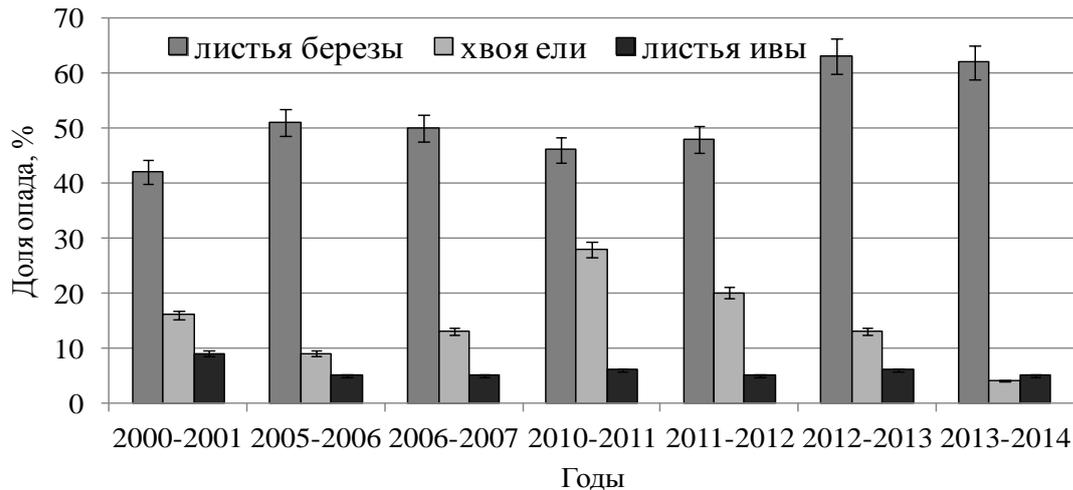


Рис. 4. Изменения в соотношении основного опада доминирующих видов в березово-еловом молодняке в период с 2000 по 2014 год

фракции опада обусловлено возрастанием массы опадающих листьев березы, ивы и хвои ели. Как известно, снижение доли активной фракции характерно для спелых насаждений и обусловлено увеличением доли отмерших ветвей в общем опаде, вследствие естественного изреживания древостоя (Родин, Базилевич, 1965). Поэтому для исследуемого молодняка, наблюдается увеличение активной фракции опада.

Сезонная динамика листового опада определяется двумя максимумами его поступления: первый в сентябре-октябре и связан с опадом листвы; второй в мае – с началом вегетации растений и опадом цветоносов и почечных чешуй (Егорова, 1968; Сапронов, 2013). Значительная часть листового опада березово-елового молодняка поступает в летне-осенний период (рис. 5). В зимне-весенний период количество опада в среднем в 3–7 раз меньше летне-осеннего. В составе летне-осеннего опада значительную часть составляют листья березы, рябины и ивы, в зимне-весеннем – хвоя ели. Основная тенденция в многолетней сезонной динамике поступления листового опада – увеличение в процентном соотношении летне-осеннего опада. Снижение доли участия древесного опада, поступающего с октября по май за исследуемые годы, во многом определяется увеличением содержания фракций листьев березы, рябины и ивы, основная часть которых поступает в летне-осенний период.

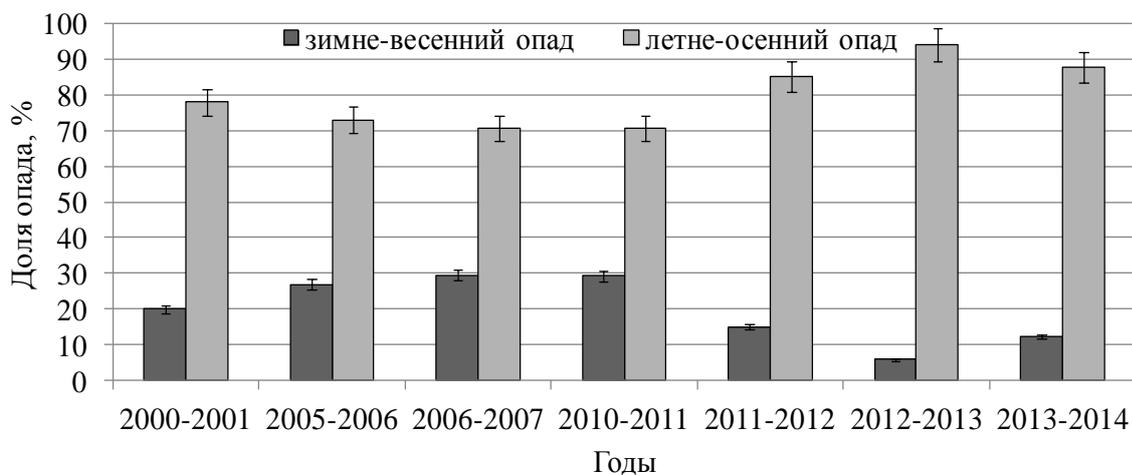


Рис. 5. Динамика поступления зимне-весеннего и летне-осеннего листового опада в течение семи лет (2000–2014 гг.)

Количество листового опада, поступающего в березово-еловом молодняке в течение года довольно вариабельно. Например, количество зимне-весеннего опада за 2010–2011 годы в пределах исследуемого насаждения изменялось от 112 до 1061 кг/га, летне-весеннего опада, собранного в 2012 году от 896 до 2708 кг/га. Коэффициент вариации (CV) за исследуемые годы для летне-осеннего опада составил от 6 до 27 %, для зимне-весеннего от 7 до 24 %. Следует отметить, что по мере увеличения возраста исследуемого молодняка, показатель CV возрастает. Это связано с большой численностью подроста и подлеска, сложным составом древостоя и неравномерным распределением различных видов древесных растений на месте технологических элементов рубки.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования показали, что количество листового опада, поступающего на поверхность почвы в березово-еловом молодняке в течение 15 лет, изменяется от 501 ± 80 до 2358 ± 349 кг/га в год. За исследуемый период его количество увеличивается в 3–5 раз.

2. Установлено, что значительная часть листового опада в исследуемом молодняке поступает в летне-осенний период. Основной тенденцией в многолетней сезонной динамике поступления листового опада является увеличение его количества в летне-осенний период и уменьшение в зимне-весенний.

3. Выявлено, что по мере роста и формирования древостоя изменяется соотношение неактивной фракции опада к активной от 1:2 до 1:7, что обусловлено возрастанием массы опадающих листьев березы, ивы и хвои ели.

4. Динамика поступления опада в исследуемом молодняке проявляется в увеличении количества опада и изменении соотношения его отдельных фракций. Установлено, что доля листьев и хвои в опаде за годы исследований возрастает с 70 до 88 %, листьев березы с 42 до 62 %. Соотношение хвои сосны и пихты в опаде за исследуемые годы изменяется неравномерно, а для опада ветвей, семян, коры и почечных чешуй четко выраженной динамики по годам не наблюдается.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы госзадания Института биологии Коми научного центра УрО РАН (№ АААА-А 17-117122090014-8) «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на европейском Северо-Востоке России».

Список литературы

Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / [Ред. К. С. Бобкова, Э. П. Галенко]. – СПб.: Наука, 2001. – С. 65–67.

Боев В. А., Боев В. В. Соотношение хвойной и листовой составляющих и величина листового опада смешанных хвойно-лиственных лесов подзоны подтайги // Вестник Омского ГАУ. – 2017. – № 1 (25). – С. 43–49.

Демаков Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем: методологические и методические аспекты. – Йошкар-Ола, 2000. – 416 с.

Егорова Н. В. Запасы, состав опада и подстилок в березово-еловых и еловых насаждениях Южной Карелии // Лес и почва. Труды Всесоюзной научной конференции по лесному почвоведению. – Красноярск – 1968. – С. 268–275.

Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.

Мелехов И. С. Изучение концентрированных рубок и возобновления леса в связи с ними в таежной зоне // Концентрированные рубки в лесах Севера: сборник статей. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – С. 5–47.

Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. – Л.: Наука, 1968. – 145 с.

Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности земного шара. – М.-Л., 1965. – 254 с.

Сапронов Д. В. Поступление углерода в почву с опадом // Разнообразие лесных почв и биоразнообразие лесов. Сборник материалов V всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием. (24–27 сентября, Пушино, 2013). – Пушино, 2013 – С. 89–98.

Ильчуков С. В. Динамика структуры лесного покрова на сплошных вырубках (подзона средней тайги Республики Коми) / [Ред. С. В. Дегтева]. – Екатеринбург, 2003. – 120 с.

Пристова Т. А. Динамика древесной растительности в лиственных насаждениях послерубочного происхождения (подзона средней тайги Республики Коми // Принципы экологии. – 2019. – №3 (33). – С. 63–73.

Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера / [Ред. В. В. Пономарева]. – Л.: Наука, 1975. – 130 с.

Рыжкова Г. А. Структура и динамика опада лесных фитоценозов Центрально-Черноземного заповедника: дисс. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.16. Экология. – Воронеж, 2003. – 169 с.

Pristova T. A. Dynamics of aboveground litterfall of trees in birch-spruce young forest of the middle taiga of the Komi Republic // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 55–61.

The paper presents the results of research of tree litterfall receipt dynamics. The research has been carried out in deciduous young forest of post-harvest origin in the middle taiga of the Komi Republic for more than 15 years. In particular, the research was conducted in young forest consisting of birch (80 %) and spruce (20 %), growing on the site where spruce-blueberry forest had been cut down. It was found out that the amount of leaf litter varied from 501±80 to 2358±349 kg/ha per year during the analyzed period. It was revealed that the amount of leaf litter had increased 3–5 times during 15 years. Besides, the research showed that in the studied young forest majority of the leaf litter fell in summer and autumn period. The main trend in the long-term seasonal dynamics of the receipt of leaf litter was an increase in its quantity in summer-autumn period and a decrease in winter-spring period. The research proved that during the studied period the share of leaves and needles in the annual litterfall increased from 70 % to 88 %, the share of birch leaves grew from 42 % to 62 %. There was no clear dynamics of pine and fir litterfall, as well as such fractions as branches, seeds, bark and bud scales. It was revealed that the total amount of leaf litter was largely determined by its dominant fractions. Correlation analysis showed a strong positive connection between the stock of litterfall and the weight of leaves of birch and willow, and spruce needles ($r>0.8$), but low and medium connection for branches, seeds and other components of litterfall ($r<0.5$). It was shown that from 2000 to 2014 the annual quantity of individual fractions of leaf litter was quite variable. During the studied period the coefficient of variation (CV) of litterfall was from 6 % to 27 % in summer and autumn, from 7 % to 24 % in winter-spring. The obtained data make it possible to determine the dynamics of litter formation in taiga forest ecosystems of post-harvest origin.

Key words: taiga, felled area, birch-spruce young forest, leaf litter.

Поступила в редакцию 16.08.21

Принята к печати 18.11.21

УДК 556.551:[556.3+556.5]:622(470+56)

Условия формирования гидрохимических показателей подземных и поверхностных вод при добыче колчеданных руд открытым способом

Гамм Т. А., Гривко Е. В.

*Оренбургский государственный университет
Оренбург, Россия
grivko-ev@mail.ru, hammtam@mail.ru*

Карьер Блявинского месторождения обрабатывался с тридцатых годов двадцатого века и в настоящее время закрыт. В течение этого периода времени изучались вопросы воздействия на минералы процессов окисления при открытой добыче колчеданных руд, рассматривались пути миграции элементов в зоне окисления. Многочисленные экологические проблемы, возникшие при эксплуатации карьера, а затем и после его закрытия, а не решены до настоящего времени. Поэтому проводятся эколого-геохимические исследования ландшафтов Южного Урала в районе г. Медногорска, где наблюдается загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии при переработке колчеданных руд, для решения экологических проблем. Исследуются экологические проблемы при процессах формирования состава воды в карьерных озерах Южного Урала. В статье рассмотрены вопросы формирования гидрохимических показателей карьерных вод Блявинского карьера. Показана взаимосвязь поверхностных и подземных вод, влияния карьерных вод на гидрохимические показатели рек на месторождении колчеданных руд в Оренбургской области. Проанализирована динамика уровня подземных вод в многолетнем разрезе, химический состав вод рек и карьерных вод. Рассмотрена роль отвалов рыхлых и скальных пород на формирование химического состава вод карьерных озер и вод в ложбинах стока. Теоретически обосновано образование высоких концентраций сульфатов и тяжелых металлов в водах. Установлено, что карьерные воды отработанного Блявинского карьера загрязнены тяжелыми металлами, сульфатами и другими загрязняющими веществами, имеют кислую реакцию среды, и не могут быть использованы для хозяйственных целей. В настоящее время они не представляют опасности для окружающей среды, в частности для подземных водоносных горизонтов и рек на территории месторождения, так как водоприитоки в карьер прекращены, а карьерные воды локализованы в скальных породах. В связи с изученными процессами в окружающей среде требуется рассмотреть вопросы рекультивации отработанного Блявинского карьера.

Ключевые слова. Гидрохимические показатели, подземные и поверхностные воды, добыча колчеданных руд, открытый способ добычи, отвалы.

ВВЕДЕНИЕ

С самого начала разработки Блявинского месторождения изучались вопросы воздействия на минералы процессов окисления при открытой добыче, рассматривались пути миграции элементов в зоне окисления (Герман, Русакова 1962а, 1962б). Исследования продолжаются и в настоящее время. При этом для получения достоверных данных и расширения спектра исследований тяжелых металлов в почвах применяют рентгеноспектральный анализ без разрушения почвы в течение короткого времени и метод экстракционного фракционирования по российским методикам (Минкина, 2016).

Открытая добыча колчеданных руд связана с воздействием на окружающую среду, ее изменением в результате возникновения техногенных элементов рельефа и формировании отличного от природного химического состава вод. В комплексе с добычей находится переработка руд. При добыче и переработке медноколчеданных руд возникают многочисленные экологические проблемы.

Поэтому для изучения экологических проблем и разработки необходимых мероприятий проводятся экологические и геохимические исследования почв вблизи Медногорска, где отмечают высокие концентрации тяжелых металлов в почвах, связанные с поступлением их от медно-серного комбината (Бодров, 1997; Водяницкий, 2011).

Исследуются экологические проблемы и условия формирования гидрохимического режима вод в карьерах при их затоплении (Удачин, 2001, 2003).

По результатам исследований предлагаются технологические решения экологических проблем при разработке карьерами месторождений медно-цинковых руд на Южном Урале (Паршина, 2003; Зеньков, Логинова и др., 2021).

Исследования зарубежных авторов предусматривают изучение характеристик водных объектов, их окислительно-восстановительные и рН условия, потенциал их восстановления (Castro, 2000; Bachmann, 2001). При изучении рассматривается вопрос чувствительности анализа входной плотности воды в прогнозе рудничных вод, их обороте, изучаются химические реакции скальных пород и процессы адсорбции поверхностью руд (Castendyk, 2007a, 2007b). Также изучается эволюция водной геохимии шахты, происхождение сульфата и эффекты стратификации, влияющие на качество воды (Ramstedt, 2003; Denimal, 2005; Kohfahl, 2007). Научные исследования российских и зарубежных авторов направлены на изучение и решение экологических проблем.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Авторы использовали общепринятые методы и методики отбора проб вод. Отбор, консервация и транспортировка проб воды – в соответствии с ГОСТ Р 51593-2000 и методическим письмом ВСЕГИНГЕО «По отбору, консервации и хранению гидрохимических проб» (1983). Анализы вод выполнены в аккредитованных лабораториях. В почвах определялись подвижные формы металлов, извлекаемые ацетатно-аммонийным буфером (рН=4,8). Лабораторные анализы содержания металлов в воде проводились методами вольтамперометрии и атомной абсорбции. Исследования осуществлялись в интервале с 2016 по 2020 годы. В реках было отобрано пятнадцать проб, а в карьере – в трех точках у кромки и на расстоянии 30 метров от края по три параллели.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка Блявинского месторождения колчеданных руд началась в 1934 году и продолжалась подземным способом до 1951 года.

В 1951 году принято решение об открытом способе добычи руд в северной части месторождения, а в 1954 году работы там были прекращены. В южной части месторождения руду добывали подземным способом. В 1953 году началась эксплуатация Блявинского карьера на горизонте 430 м. Разработка карьера велась в длину на 0,8 км, в ширину на 0,4 км, при максимальной глубине до 100 м.

В это время приток вод в карьер направлялся в подземный выработанный участок, затем из него поступал на очистные сооружения, а затем очищенные сточные воды поступали в реку Джереклю. По мере эксплуатации карьера система отвода карьерных вод была уничтожена при углублении вниз.

При разработке проводился производственный мониторинг уровня воды в карьерном водоеме рудника в период с 1971 по 2018 год. Мы посчитали интенсивность динамики годовую и интенсивность динамики среднегодовую. В период с 1971 по 2002 год подъем уровня воды в карьерном водоеме произошел от 0 до 28 м, интенсивность динамики среднегодовая за этот период (30 лет) была 0,9 м/год. В 2002 году интенсивность динамики среднегодовая составляла 11,50, а к 2007 году уменьшилась до 4,0 м/год (табл. 1). С 2014 по 2015 год она составляла менее одного метра в год, а с 2016 по 2017 год увеличилась и составляла более одного метра в год.

В период наиболее высоких водоприток в карьер дебит их был в среднем 30,5 м³/ч. Вероятно в эти годы происходила разгрузка статических запасов воды, а затем наблюдались динамические водопитоки в карьер. В начале отработки карьера данные мониторинга показывали, что грунтовые воды были слабо минерализованными с сухим остатком всего 200 мг/л, сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые-натриевые.

Таблица 1

Динамика глубины карьерного водоема Блявинского рудника

| Период времени мониторинга | Уровень вод, м | Глубина вод, м | Годовая интенсивность динамики, м/год | Среднегодовая интенсивность динамики, м/год |
|----------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|---|
| 1971 год, июнь | 253 | 0 | 0 | 0 |
| 2002 год, февраль | 281 | 28 | 28 | 11,50 |
| 2002 год, май | 288 | 35 | 7 | |
| 2002 год, ноябрь | 283 | 30 | 5 | |
| 2003 год, май | 298 | 45 | 15 | - |
| 2006 год, апрель | 313 | 60 | 15 | 8,50 |
| 2006 год, сентябрь | 315 | 62 | 2 | |
| 2007 год, май | 320 | 67 | 5 | 4,00 |
| 2007 год, сентябрь | 323 | 70 | 3 | |
| 2009 год, март | 328 | 75 | 3 | - |
| 2010 год, май | 330 | 77 | 2 | - |
| 2011 год, май | 330 | 77 | 0 | - |
| 25.04.12 | 333 | 80 | 3 | - |
| 2013 год, апрель | 335 | 82 | 2 | 4,59 |
| 2013 год, октябрь | 342,1 | 89,0 | 7,17 | |
| 2014 год, май | 342,7 | 89,6 | 0,59 | 0,24 |
| 2014 год, сентябрь | 342,6 | 89,5 | 0,10 | |
| 2015 год, май | 343,9 | 90,8 | 1,30 | 0,74 |
| 2015 год, октябрь | 344,1 | 91,0 | 0,18 | |
| 2016 год, июнь | 346,7 | 93,6 | 2,63 | 1,68 |
| 2016 год, сентябрь | 347,4 | 94,3 | 0,72 | |
| 2017 год, май | 350,3 | 97,2 | 2,82 | 1,46 |
| 2017 год, июль | 350,4 | 97,3 | 0,10 | |
| 2018 год, май | 351,6 | 98,5 | 1,22 | - |
| 2019 год, май | 352,3 | 99,24 | 0,72 | - |

Основным источником питания карьерных вод являются дождевые и талые воды. На территории Восточного Оренбуржья наблюдается дефицит атмосферных осадков, поэтому питание грунтовых вод невысокое в результате инфильтрации атмосферных осадков в грунтовые воды.

Почвы территории месторождения имеют тяжелый гранулометрический состав и низкую водопроницаемость, поэтому при значительных крутых элементах рельефа наблюдается

сброс атмосферных осадков по рельефу в ложбины стока. Кроме того, карьер имеет довольно большую площадь, поэтому карьерные воды пополняются при выпадении атмосферных осадков на поверхность карьера. Водоприитоки зависят от атмосферных осадков, выпадающих непосредственно на поле карьера.

На территории месторождения глубина залегания подземных вод варьировала от 5 м на водоразделах до 35 м на клонках.

Питание подземных вод всего месторождения происходит за счет притока со стороны рек Урал и Блява и аккумуляции атмосферных вод в ложбинах стока.

В карьер разгружаются подземные воды, залегающие в трещиноватых эффузивных породах (туфы, спилиты, обеленные иярозитизированные кератофиры) в результате геологического взаимодействия рудного тела с вмещающими породами.

На фоновых участках удельные дебиты подземных вод низкие, за исключением зон трещиноватых пород до глубины 60 м на эрозионных элементах рельефа. Зонами разгрузки подземных вод являются природные водные объекты и техногенные образования. В естественных условиях расход подземных вод неравномерен по территории месторождения и увеличивается по мере приближения к реке Блява. Кроме того, подземный сток направлен в сторону рек Блява, Херсонка и Джеракля. В условиях техногенеза на месторождении карьеры выступают в качестве искусственных локальных дрен.

В результате водоприитока происходит постепенное заполнение карьера подземными водами. Рельеф дна отработанного карьера и неполное его заполнение в настоящее время позволяют сформировать на поле карьера искусственные техногенные водоемы и уменьшить высоту депрессионной воронки.

Уровень воды в выработанном пространстве карьера Блявинский с 1971 года по настоящее время изменился с 253 м до 352,3 м, а глубина – с 28 м до 99,24 м.

Вскрышные породы формируют края карьера в верхней его части. Породы рыхлые в верхней части карьера переходят в скальные породы ниже по карьеру. В нижней части карьера скальные породы имеют низкий коэффициент фильтрации, что препятствует распространению карьерных вод в породы и формированию потока подземных техногенных вод. Поэтому при затоплении карьера необходимо соблюдать расчетный уровень карьерных вод, иначе техногенные воды карьера будут просачиваться через верхнюю часть трещиноватых пород бортов карьера и продвигаться вместе с потоком подземных вод в реку Блява. В настоящее время на образующихся внутрикарьерных техногенных водоемах прослеживается тенденция к установлению динамического равновесия между объемами поступления вод и объемами испарения вод с площади зеркала воды.

Обводнение карьеров происходило за счет выпадаемых непосредственно на полях карьеров атмосферных осадков и за счет трещинно-водоносного горизонта, также питающегося за счет атмосферных осадков, выпадающих в границах депрессионных воронок карьеров, на прилегающих к карьерам землях. Общий приток вод в карьеры колеблется в пределах от 6 л/сек до 15 л/сек. В Блявинском карьере накоплено 3230 тыс. м³ карьерных вод, карьер еще окончательно не затоплен.

Карьерные воды отработанного Блявинского карьера имеют гидрокарбонатно-хлоридный и сульфатный тип засоления, что связано с условиями их формирования в карбонатных и засоленных породах, а затем выщелачивания элементов из руд. В результате природных и техногенных процессов формируются кислые карьерные воды, высокоминерализованные с суммой солей от 4,0 до 5,0 г/дм³.

Установлено, что медные сульфидные руды формируют химический состав природных подземных вод на фоновом участке с содержания меди от ЗПДК до 7ПДК для водоемов рыбохозяйственного водопользования, что не позволяет в любом случае их сброс без очистки в поверхностные водные объекты. Однако содержание меди не превышает ПДК для водоемов хозяйственно питьевого водопользования. Очищенные методом флокуляции карьерные воды на очистных сооружениях карьера по содержанию меди не превышают ПДК для водоемов хозяйственно питьевого водопользования.

Химический состав карьерных вод формировался в результате выщелачивания загрязняющих веществ из пород карьера и водоотведения подотвальных вод в карьер. Химический состав карьерных вод формируется при выщелачивании ими элементов из пород: меди, цинка, марганца, железа из сульфидных руд. При окислении сульфидов руд образуются кислые воды с рН от 3 до 4.

По проектным данным при добыче руд карьерным способом в зависимости от химического состава карьерных вод проектируется их водоотведение на очистные сооружения. Химический состав карьерных вод Блявинского рудника не позволяет сбрасывать их из карьера без очистки. Способ очистки выбирается в зависимости от объемов, химического состава и требований к качеству очищенных сточных вод. На Блявинском руднике предусмотрена станция очистки методом флокуляции.

В таблице 2 представлены показатели качества карьерных вод в озере Блявинского карьера у кромки карьера и на расстоянии 30 м от кромки за 2019 год.

Таблица 2

Показатели качества карьерных вод в озере Блявинского карьера у кромки карьера и на расстоянии 30м от кромки карьера

| Показатель | У кромки карьера, мг/дм ³ | 30 метров от кромки карьера, мг/дм ³ | ПДК р.х., мг/дм ³ | ПДК х.п., мг/дм ³ | Класс опасности |
|-------------------------------|--------------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Cu ²⁺ | 18,3±2,7 | 6,6±1,0 | 0,001 | 1,0 | 3 |
| Zn ²⁺ | 40,9±5,7 | 22,4±3,1 | 0,01 | 1,0 | 3 |
| Cr ⁶⁺ | 0,031±0,009 | 0,042±0,012 | 0,02 | 0,05 | 3 |
| SO ₄ ²⁻ | 3801,1 | 3742,9 | 100 | 500 | - |

На расстоянии 30 м от кромки карьера наблюдается более низкая концентрация сульфатов, меди и цинка в результате разбавления в большем объеме вод, но концентрация хрома выше. У кромки карьера наблюдается превышение ПДК р.х. по меди в 18300 раз, по цинку – в 4090 раз, по хрому шестивалентному – в полтора раза, ПДК х.п.в по меди – в 18 раз, цинку – в 41 раз, хром шестивалентный не превышает ПДК х.п.в.

На расстоянии 30 м от кромки карьера наблюдается превышение ПДК р.х. по меди в 16500 раз, по цинку – в 2240 раз, по хрому шестивалентному – в два раза, ПДК х.п.в по меди – в 7 раз, цинку – в 22 раза, хром шестивалентный не превышает ПДК х.п.в.

Поверхностные водные объекты территории находятся под влиянием загрязненных высокоминерализованных карьерных вод

Результаты проведенных исследований поверхностных вод на участке изысканий представлены в таблице 3.

В реках территории месторождения наблюдается значительное превышение ПДК р.х. по тяжелым металлам. В настоящее время с учетом многолетнего воздействия карьера в реке Херсонка наблюдается превышение ПДК р.х. по следующим веществам: марганец (42 ПДК), железо (19 ПДК), медь (37 ПДК), цинк (101 ПДК), не наблюдается превышение ПДК р.х. по мышьяку. На величину рН высокие концентрации тяжелых металлов в водах реки не влияют, она находится в нормативных пределах и составляет около 7, кроме реки Джеракля до слияния с рекой Блява.

В подотвальных водах, которые выщелачивают загрязняющие вещества из отвалов вскрышных пород колчеданных руд, наблюдаются высокие концентрации магния, алюминия, марганца, железа, кобальта, меди, цинка. В основном на месторождении подотвальные воды собираются и отводятся в карьер, однако наблюдается, что они свободно растекаются по поверхности, стекают по элементам рельефа.

Таблица 3

Химический состав вод речной сети в районе влияния Блявинского рудника

| Показатели | ПДК р.х. | Концентрации загрязняющих веществ, мг/дм ³ | | | | |
|------------|----------|---|---|---|--|--|
| | | река Блява после впадения реку Джеракля | река Блява после впадения реки Херсонка | река Херсонка при впадении в реку Блява | река Джеракля ниже слияния с рекой Блява | река Джеракля до слияния с рекой Блява |
| 2016 г. | | | | | | |
| pH | | 7,2 | 7,7 | 7,5 | 7,0 | 4,5 |
| Cu | 0,001 | 1,974 | 0,103 | 0,258 | 4,356 | 17,078 |
| Fe | 0,1 | 6,84 | 0,33 | 0,30 | 10,04 | 10,13 |
| Zn | 0,01 | 2,363 | 0,286 | 0,261 | 4,561 | 8,52 |
| As | 0,05 | 0,095 | 0,007 | 0,006 | 0,034 | 0,164 |
| Mn | 0,01 | 2,68 | 0,22 | 0,48 | 3,05 | 5,17 |
| 2018 г. | | | | | | |
| pH | | 7,2 | 7,7 | 7,4 | 7,1 | 4,5 |
| Cu | 0,001 | 0,109 | 0,035 | 0,05 | 0,663 | 9,233 |
| Fe | 0,1 | 0,49 | 0,23 | 0,18 | 1,4 | 1,08 |
| Zn | 0,01 | 1,187 | 0,095 | 0,129 | 1,821 | 5,0 |
| As | 0,05 | 0,137 | 0,018 | 0,02 | 0,043 | 0,237 |
| Mn | 0,01 | 2,32 | 0,12 | 0,31 | 2,84 | 4,80 |
| 2020 г. | | | | | | |
| pH | | 7,3 | 7,8 | 7,4 | 7,3 | 4,6 |
| Cu | 0,001 | 0,128 | 0,037 | 0,015 | 0,763 | 9,687 |
| Fe | 0,1 | 0,51 | 0,19 | 0,318 | 1,89 | 1,98 |
| Zn | 0,01 | 1,197 | 1,005 | 0,279 | 1,721 | 5,675 |
| As | 0,05 | 0,127 | 0,028 | 0,032 | 0,053 | 0,136 |
| Mn | 0,01 | 2,85 | 0,42 | 0,41 | 2,76 | 4,91 |

В водах, сосредоточенных в пониженных элементах рельефа, в ложбинах стока по всем рассматриваемым веществам наблюдается превышение ПДК р.х. Наибольшие концентрации загрязняющих веществ характерны для логов и лощин, где собираются подотвальные воды. В водах отмечены высокие концентрации по следующим веществам: магний, алюминий, марганец, железо, кобальт, медь, цинк. В водах повышена минерализация, сухой остаток, в составе ионов доминируют сульфаты, также повышена жесткость вод. В этих же водах наименьшие показатели pH то 4,5 до 4,8, воды кислые.

Образование легкорастворимых сульфатов при окислении находящихся в отвалах остатков забалансовых сульфидных руд предопределяет решающее значение гидрогеохимической миграции в рассеянии и концентрации тяжелых металлов. Состав вод определяется скоростью окисления сульфидов, растворимостью и устойчивостью сульфатов в водных растворах, количеством и составом накопленных на испарительных барьерах водорастворимых солей, а также эффективностью геохимических барьеров, действующих в отвалах. Основным агентом, обеспечивающим окисление сульфидов в отвале, является вода: она доставляет окислители и удаляет продукты окисления – сульфаты. Инфильтрационные потоки внутренних зон отвала растворяют сульфаты и транспортируют металлы в ионной форме в основание отвала.

Отвалы вскрышных пород отличаются от естественной геологической среды тем, что находятся в зоне аэрации выше уровня подземных вод, отличаются высокой диспергированностью слагающего их материала и подвергаются активному воздействию агентов внешней среды: физическому и химическому выветриванию. В этих условиях происходит мобилизация и миграция элементов.

Одной из форм миграции токсикантов из отвалов являются гидрогенные потоки в виде жидких подотвальных вод. Гипергенные изменения рудных минералов месторождений колчеданной формации приводят к переводу труднорастворимых сульфидов (пирит, халькопирит, сфалерит и др.) в хорошо растворимые сульфаты.

Химический состав вод Блявинского озера характеризуется высокими концентрациями железа, цинка и меди, которые сформировались как в природных условиях, так и под влиянием техногенных факторов. Высокоминерализованные карьерные воды имеют в своем составе высокое содержание магния, кальция и натрия, что определяет их засоленность. Исследование перераспределения загрязняющих веществ показало, что содержание меди и цинка в водах при малых глубинах уменьшается с глубиной, возле кромки формируется зона испарения и аккумуляции породами основания озера тяжелых металлов. Хром обладает большей активностью, а его концентрация увеличивается с глубиной. В числе других элементов, концентрации которых в 100 и более раз превышают фоновые концентрации поверхностных вод, следует отметить кадмий, кобальт, свинец, никель.

Содержания сульфатов уменьшается с глубиной в результате разбавления, на кромке вод формируется зона испарения с повышенной концентрацией, а, соответственно, минерализацией вод. В карьерных водах формируется сульфатный тип засоления, доминирующим анионом является сульфат-ион. Засоление вод доходит до 6,0 г/л.

В локализованных в карьере техногенных водах в дальнейшем будут повышаться концентрации тяжелых металлов (медь, цинк, мышьяк, марганец, медь) и формирующих кислый характер и высокую минерализацию ионов (алюминий, сульфаты, магний, кальций и натрий) при выщелачивании их агрессивными карьерными водами из пород стенок карьера.

В настоящее время интенсивность динамики среднегодовая подземных вод в период 2018–2020 годы равна нулю. Водопритоки в карьер не наблюдаются.

В поверхностные водные объекты будет происходить разгрузка сформировавшихся потоков, загрязненных кислых подземных вод. В настоящее время отток подземных вод из карьера локализован. В подземных водах начинается процесс самоочищения.

ВЫВОДЫ

1. Таким образом, карьерные воды Блявинского месторождения загрязнены тяжелыми металлами, сульфатами и другими загрязняющими веществами, имеют кислую реакцию среды и не могут быть использованы для хозяйственных целей.

2. В настоящее время карьерные воды Блявинского месторождения не представляют опасности для окружающей среды, в частности для подземных водоносных горизонтов и рек на территории месторождения, так как водопритоки в карьер прекращены, а карьерные воды локализованы в скальных породах.

3. В связи с сформированными техногенными процессами в окружающей среде требуется рассмотреть вопросы рекультивации отработанного Блявинского карьера.

Список литературы

Герман А. К., Русакова Л. Д. Медноколчеданное месторождение Блява на Южном Урале. – Материалы по геологии и полезным ископаемым Южного Урала. – 1962а. – Вып. 3. – С. 180–187.

Герман А. К., Русакова Л. Д. Миграция элементов в зоне окисления Блявинского медноколчеданного месторождения на Южном Урале // Труды Института геологии и геохимии – 1962б. – Вып. 68. – 128 с.

Минкина Т. М., Солдатов А. В., Невидомская Д. Г., Мотузова Г. В., Подковырина Ю. С., Манджиева С. С. Новые подходы в изучении соединений тяжелых металлов в почвах с применением рентгеноспектрального анализа и экстракционного фракционирования // Геохимия. – 2016. – № 2. – С. 212–219. – Режим доступа: <https://doi.org/10.7868/S0016752515120067> (просмотрено 15.10.2021).

Бодров С. С. Эколого-геохимические исследования ландшафтов Южного Урала (Район г. Медногорска) / Изменение природной среды: глобальный и региональный аспекты [Под ред. А. Н. Геннадиева и Е. В. Милановой]. – М.: Изд-во Московского университета, 1997. – 200 с.

Водяницкий Ю. Н., Плеханова И. О., Прокопович Е. В., Савичев А. Т. Загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии // Почвоведение. – 2011. – № 2. – С. 240–249.

- Удачин В. Н., Филиппова К. А., Дерягин В. В. Процессы формирования состава воды в карьерных озерах Южного Урала // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии. – Челябинск. – 2003. – С. 115 – 118.
- Удачин В. Н., Дерягин В. В. Процессы формирования состава воды в двух карьерных озерах Южного Урала // Школа экологической геологии и рационального недропользования. Материалы II межвузовской конференции. – СПб: СПбГУ, 2001. – С. 100–102.
- Филиппова К. А., Дерягин В. В. Гидрохимия карьерных озер Бакальской геотехнической системы (Южный Урал) // Водные ресурсы. – 2005. – № 4. – С. 470 – 476.
- Зеньков И., Логинова Е., Гильц Н., Сычева Е., Кондрашов П., Конов В., Павлова П., Брежнев Р., Скорнякова С. Технологические решения экологических проблем при разработке карьерами месторождений медно-цинковых руд на Южном Урале. Экология и промышленность России. – 2021. – 25 (1). – С. 54–59. – Режим доступа: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-1-54-59> (просмотрено 15.10.2021).
- Паршина И. Н., Стряпков А. В. Сорбция ионов металлов органическими катионитами из карьерных растворов // Вестник ОГУ – 2003. – № 5. – С.107–109.
- Bachmann T. M., Friese K., Zachmann D. W. Redox and pH conditions in the water column and in the sediments of an acidmining lake // Journal of Geochemical Research. – 2001. – V. 73. – P. 75–86.
- Castro J. M., Moore J. N. Pit lakes: their characteristics and the potential for their remediation // Environmental Geology, – 2000. – V. 39. – N 11. – P. 1254–1260.
- Castendyk D., Webster – Brown J. D. Sensitivity analyses in pit lake prediction, Martha Mine, New Zealand 1: Relationship between turnover and input water density // Chemical Geology. – 2007a. – V. 244. – P. 42–55.
- Castendyk D., Webster – Brown J. D. Sensitivity analyses in pit lake prediction, Martha mine, New Zealand 2: Geochemistry, water–rock reactions, and surface adsorption // Chemical Geology. – 2007b. – V. 244. – P. 56–73.
- Denimal S., Bertrand C., Mudry J., Paquette Y., Hochart M., Steinmann M. Evolution of the aqueous geochemistry of mine pit lakes – Blanzay–Montceau–les–Mines coal basin (Massif Central, France): origin of sulfate contents; effects of stratification on water quality // Applied Geochemistry. – 2005. – V. 20. – P. 825–839.
- Kohfahl C., Greskowiak J., Pekdeger A. Effective diffusion and microbiologic activity as constraints describing pyrite oxidation in abandoned lignite mines // Applied Geochemistry. – 2007. – V. 22. – P. 1–16.
- Ramstedt M., Carlsson E., Lovgren L. Aqueous geochemistry in the Udden pit lake, northern Sweden // Applied Geochemistry. – 2003. – V. 18. – P. 97 – 108.

Gamm T.A., Grivko E.V. Conditions for formation of hydrochemical indicators of ground and surface water in open cast pyrite ore mining // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 62–69.

The open pit of the Blyavinsky deposit has a long history of mining. It started in 1930th but it is currently closed. The problem of impact of oxidation on minerals during open cast pyrite ore mining was the subject of the research during all this period. Moreover, migration paths of elements in the oxidation zone was analyzed. Numerous environmental problems that occurred when the quarry was in operation, and were actual later after its closure, are still not resolved. Therefore, environmental and geochemical studies of the landscapes of the Southern Urals were conducted in the vicinity of Mednogorsk to solve environmental problems. Researchers registered that soil was contaminated by emissions from non-ferrous metallurgy enterprises during pyrite ore processing. The research studied environmental problems in the processes of water composition formation in quarry lakes of the Southern Urals. The article focuses on the issues of formation of hydrochemical indicators of the open pit water in the Blyavinsky quarry. The interrelation of surface and ground water, the influence of open pit water on the hydrochemical indicators of rivers in the deposits of pyrite ore in the Orenburg region is shown. The dynamics of the groundwater level in the long-term section, the chemical composition of river water and open pit water is analyzed. The role of stockpiles consisting of loose and rocky rocks for formation of chemical composition of water formation in quarry lakes and in the runoffs is considered. The formation of concentrations of sulfates and heavy metals in waters is theoretically substantiated. The obtained results indicate that the open pit water of the abandoned Blyavinsky quarry is contaminated with heavy metals, sulfates and other polluting substances, therefore, it has acidic reaction and cannot be used for economic purposes. At present, the water is of no danger for the environment, in particular for underground aquifers and rivers on the territory of the deposit. Water inflow into the quarry is blocked, and the quarry water is localized in rocks. The research highlights that it is necessary to consider the issues of recultivation of the abandoned Blyavinsky quarry.

Key words. hydrochemical indicators, ground and surface water, mining of pyrite ore, open pit mining, stockpiles.

Поступила в редакцию 21.10.21

Принята к печати 22.11.21

УДК 581.9:582.998(476)

Золотарник канадский (*Solidago canadensis*) в лесных насаждениях Белорусского Полесья

Гусев А. П., Шпилевская Н. С.

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины
Гомель, Беларусь
andi_gusev@mail.ru, t_asha@mail.ru

Представлены исследования инвазии *Solidago canadensis* L. в природных экосистемах Белорусского Полесья. Изучались лесные насаждения, подверженные вторжению *S. canadensis*. Установлено, что *S. canadensis* способен образовывать заросли в древостоях, которые имеют разную степень сомкнутости (0,3–0,9). В изученных древостоях преобладают виды, характерные для классов луговых и рудеральных сообществ, и практически отсутствуют диагностические виды лесных сообществ. В их спектре жизненных форм доминируют гемикриптофиты и снижено участие фанерофитов и геофитов по сравнению с фоновыми лесами. Леса с *S. canadensis* имеют высокую степень антропогенной трансформации флоры, которая выражается в значительной представленности синантропных (22,9–40 % от всех видов) и чужеродных (11,4–25,0 % от всех видов) растений. Доля синантропных видов изученных фитоценозов достигает 40 % в насаждениях клена с преобладанием в травяном ярусе *S. canadensis*. Специфической особенностью этих лесов является присутствие здесь вместе с *S. canadensis* немало числа других чужеродных видов североамериканского происхождения (*Robinia pseudoacacia* L., *Acer negundo* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronqist, *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Oenothera biennis* L., *Phalacrolobos annuum* (L.) Dumort.).

Ключевые слова: лесная экосистема, чужеродные виды, инвайдер.

ВВЕДЕНИЕ

Solidago canadensis L. – травяной многолетник (гемикриптофит), который интродуцирован из Северной Америки в Беларусь в 1950-е годы. Здесь он формирует густые заросли высотой до 2 м и плотностью более 300 побегов на 1 м². (Виноградова и др., 2009; Черная книга..., 2020). Установлено, что распространение *S. canadensis* и его способность трансформировать экосистемы зависит от климатических условий (Xu et al., 2014). Исследования показали, что в условиях ландшафтов Белорусского Полесья *S. canadensis* способен блокировать восстановительные сукцессии на залежах и оказывать негативное воздействие на видовое разнообразие луговых и рудеральных сообществ (Гусев, 2015, 2017; Gusev, 2021).

Цель работы – изучить лесные насаждения Белорусского Полесья, в травяном ярусе которых доминирует *S. canadensis*. Задачи исследований: выполнить геоботаническую съемку в лесных насаждениях, подверженных вторжению *S. canadensis*; выявить особенности их видового и фитоценологического состава, выявить спектр жизненных форм и провести сравнительный анализ изученных фитоценозов с фитоценозами зональных широколиственных лесов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Район исследований – Белорусское Полесье. Климат – умеренно-континентальный. Средняя температура июля составляет от 18,6 до 20,4 °С, средняя температура января – от –5,0 до –2,1 °С. Продолжительность периода с температурой выше 10 °С изменяется от 152 до 168 суток. Годовая сумма температур более 10° составляет 2400–2700 градусов. Количество осадков находится в пределах 550–700 мм/год. Зональная растительность – широколиственные и широколиственно-сосновые леса.

Объектом исследований являлись лесные насаждения, подверженные вторжению *S. canadensis*, представленные следующими насаждениями:

- насаждения березы с доминированием в травяном ярусе золотарника обыкновенного в Новобелицком лесничестве (насаждения 1);
- насаждения березы с доминированием в травяном ярусе вейника наземного и золотарника обыкновенного в лесопарке на территории Гомельского района (насаждения 2);
- насаждения клена с доминированием в травяном ярусе золотарника обыкновенного (лесопосадка на территории г. Гомеля) (насаждения 3).

Как эталон для сравнения были использованы широколиственно-сосновые леса Корневской экспериментальной лесной базы института леса НАН Беларуси.

Полевые исследования проводились методом геоботанической съемки на пробных площадках (размер площадок – 100 м²) в летние периоды 2020–2021 годов. На пробных площадках определялись состав и проективное покрытие травяного покрова, численность и состав естественного возобновления древесных видов. Проективное покрытие определяли по шкале: (+) – менее 1 %; 1 – менее 5 %; 2 – 6–15 %; 3 – 16–25 %; 4 – 26–50 %; 5 – более 50 %. Для каждого вида устанавливали класс постоянства: I – менее 20 %; II – 21–40 %; III – 41–60 %; IV – 61–80 %; V – 81–100 % (Миркин и др., 2002). Названия растений даются по С. К. Черепанову (1995). В работе использована классификация жизненных форм растений по Раункиеру (Миркин, 2002).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В течении XX века *S. canadensis* использовался как декоративное растение на клумбах, приусадебных участках и на кладбищах. В 2000-х годах произошло неконтролируемое повсеместное распространение золотарника, его присутствие фиксировалось на строительных пустырях, залежах, пойменных и суходольных лугах, в заброшенных населенных пунктах, на берегах водоемов, обочинах дорог, в оврагах, пересохших канавах и в прочих местах (Черная книга..., 2020).

В сообществах с доминированием *S. canadensis* в антропогенных ландшафтах характерно преобладание синантропных видов (47,8–71,4 %), высокая представленность чужеродных видов (17,4–30,0 %), почти полное отсутствие лесных видов (Гусев, 2015, 2017). Одним из негативных последствий вторжения *S. canadensis* является нарушение естественного хода сукцессий. Так, изучение восстановительной сукцессии на пашне, выведенной из хозяйственного оборота, показало, что *S. canadensis* начал встречаться здесь в 2005 году, а к 2016 году его проективное покрытие увеличилось до 94,0 %. По мере увеличения проективного покрытия этого инвайдера наблюдалось обеднение видового состава (в 2,8 раза). Травостой *S. canadensis* замедлил развитие сукцессионного процесса, подавив естественное возобновление местных деревьев и кустарников (Гусев, 2017; Gusev, 2019).

Следующим этапом вторжения *S. canadensis* стало проникновение его в лесные насаждения. К 2020 году сформировались лесные фитоценозы, в которых *S. canadensis* доминировал в травяном ярусе. Наблюдения показали, что вторжению подвергаются в первую очередь в той или иной степени нарушенные леса, вблизи которых имеются антропогенные экотопы с зарослями *S. canadensis*.

Рассмотрим результаты исследований лесов, подверженных вторжению *S. canadensis* (табл. 1). Изученные леса характеризуются преимущественно средневозрастными древостоями и широким диапазоном сомкнутости (от 0,3 до 0,9). На большинстве исследуемых площадок наблюдается развитый травяной ярус (проективное покрытие до 100 %, высота до 1,3 м), в котором доминирует *S. canadensis*. Проективное покрытие изучаемого инвайдера в геоботанических описаниях изменяется в пределах от 10 до 90 %. При этом, максимальные значения проективного покрытия *S. canadensis* наблюдалось в сообществе с участием *Acer platanoides* L., древостой которого имеет высокую сомкнутость 0,8–0,9. Этот факт указывает на повышенную степень толерантности золотарника к затенению и способность развиваться под пологом деревьев. В насаждениях березы с

доминированием в травяном ярусе вейника наземного и золотарника обыкновенного собственно *S. canadensis* образует моnodоминантные куртины, приуроченные к наиболее освещенным участкам.

Подлесок деревьев в изученных лесах имеет низкую численность, что может объясняться негативным воздействием на него *S. canadensis*. При этом, чаще всего встречается естественное возобновление североамериканского *Acer negundo* L. (до 500–1000 шт./га). Подлесок нативных деревьев, как правило, единичен (из широколиственных видов встречен только *Quercus robur* L.). Наряду с золотарником в состав травостоя входят также *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Dactylis glomerata* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Achillea millefolium* L. (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав лесных насаждений, подверженных вторжению *Solidago canadensis* (указаны только виды с постоянством II–V, здесь и далее: n – число пробных площадок)

| Вид | Насаждения 1 (n=5) | Насаждения 2 (n=5) | Насаждения 3 (n=5) |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Число описаний | 5 | 5 | 5 |
| Возраст древостоя, лет | 35 | 40 | 40 |
| Сомкнутость древостоя | 0,3–0,7 | 0,4–0,5 | 0,8–0,9 |
| Проективное покрытие травяного яруса, % | 76 | 85 | 100 |
| Древесный ярус | | | |
| <i>Acer platanoides</i> L. | – | – | V ⁵ |
| <i>Betula pendula</i> Roth | V ⁴⁻⁵ | V ⁴⁻⁵ | – |
| Подлесок | | | |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> L. | – | – | II |
| <i>Quercus robur</i> L. | – | II | – |
| <i>Acer negundo</i> L. | II | I | I |
| <i>Salix caprea</i> L. | – | II | – |
| <i>Sorbus aucuparia</i> L. | – | II | I |
| <i>Frangula alnus</i> Mill. | II | I | – |
| Травяной ярус | | | |
| <i>Achillea millefolium</i> L. | II | IV | – |
| <i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub | II | – | – |
| <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth | III | V ²⁻⁴ | V ¹⁻² |
| <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. | III | III | – |
| <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronqist | I | II | – |
| <i>Crepis tectorum</i> L. | III | IV | – |
| <i>Dactylis glomerata</i> L. | I | I | II |
| <i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski | III | II | I |
| <i>Festuca ovina</i> L. | – | IV | – |
| <i>Fragaria vesca</i> L. | II | – | II |
| <i>Geum urbanum</i> L. | – | – | II |
| <i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl. | – | – | IV |
| <i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort. | – | – | I |
| <i>Oenothera biennis</i> L. | I | II | – |
| <i>Phalacrologium annuum</i> (L.) Dumort. | II | – | III |
| <i>Poa pratensis</i> L. | II | IV | – |
| <i>Solidago canadensis</i> L. | V ⁴⁻⁵ | V ³⁻⁵ | V ⁵ |
| <i>Solidago virgaurea</i> L. | – | II | – |
| <i>Veronica longifolia</i> L. | – | II | – |

Леса, в травяном ярусе которых доминирует *S. canadensis*, имеют специфический фитосоциологический состав, резко отличающийся от фитосоциологического состава зональных широколиственных лесов (табл. 2). Основными отличиями являются: 1) почти полное отсутствие видов лесных классов растительности (широколиственных лесов – *Carpino-Fagetea*, бореальных хвойных лесов – *Vaccinio-Piceetea*); 2) широкая представленность видов синантропных классов растительности (*Chenopodietea*, *Artemisietea*, *Robinietaea*); 3) широкая представленность видов луговых классов (*Molinio-Arrhenatheretea*, *Sedo-Scleranthethea*). Во флоре зональных широколиственных лесов доля видов неморального класса *Carpino-Fagetea* в среднем составляет 43,4 %, в лесах с доминированием *S. canadensis* – менее 5 %. Основная часть флоры последних – это представители луговой фитосоциологической группы *Molinio-Arrhenatheretea* (*Achillea millefolium*, *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis* и другие).

Таблица 2

Фитосоциологический состав лесных насаждений, подверженных вторжению *Solidago canadensis*

| Фитосоциологическая группа | Насаждения 1 (n=5) | Насаждения 2 (n=5) | Насаждения 3 (n=5) | Фоновые широколиственные леса (n=53) |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|
| <i>Chenopodietea</i> | 8,7 | 8,6 | 5,0 | 1,9 |
| <i>Artemisietea vulgaris</i> | 21,7 | 5,7 | 10,0 | 0 |
| <i>Epilobietea angustifolii</i> | 8,7 | 5,7 | 10,0 | 5,7 |
| <i>Robinietaea</i> | 4,3 | 2,9 | 10,0 | 1,9 |
| <i>Sedo-Scleranthethea</i> | 0 | 5,7 | 0 | 0 |
| <i>Molinio-Arrhenatheretea</i> | 21,7 | 31,4 | 15,0 | 9,4 |
| <i>Alnetea glutinosae</i> | 4,3 | 2,9 | 0 | 7,5 |
| <i>Vaccinio-Piceetea</i> | 0 | 2,9 | 0 | 7,5 |
| <i>Carpino-Fagetea</i> | 0 | 2,9 | 5,0 | 43,4 |

Леса, подверженные вторжению *S. canadensis*, имеют специфический спектр жизненных форм, также резко отличный от спектра жизненных форм зональных широколиственных лесов (табл. 3). В составе флоры преобладают гемикриптофиты (около 50 % всех видов растений), снижается доля фанерофитов (в 1,5–2,2 раза) и геофитов (1,2–3,6 раза), увеличивается доля терофитов (в 2,2–3,9 раза) и гемитерофитов (в 2,2–4,5 раза).

Таблица 3

Спектры жизненных форм лесных насаждений, подверженных вторжению *Solidago canadensis*

| Жизненная форма | Насаждения 1 (n=5) | Насаждения 2 (n=5) | Насаждения 3 (n=5) | Фоновые широколиственные леса (n=53) |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|
| Терофиты | 13,0 | 8,6 | 15,0 | 3,8 |
| Гемитерофиты | 4,3 | 8,6 | 5,0 | 1,9 |
| Геофиты | 17,4 | 5,7 | 10,0 | 20,8 |
| Гемикриптофиты | 47,8 | 51,4 | 50,0 | 32,1 |
| Фанерофиты | 17,4 | 25,7 | 20,0 | 37,7 |

Леса, в травяном ярусе которых доминирует *S. canadensis*, характеризуются высокими значениями показателей антропогенной трансформации. Индекс синантропизации (то есть доля синантропных видов) изученных фитоценозов достигает 40 % в насаждениях клена с доминированием в травяном ярусе золотарника обыкновенного. В насаждениях березы с доминированием в травяном ярусе вейника наземного и золотарника обыкновенного этот индекс составляет 22,9 %, в насаждениях березы с доминированием в травяном ярусе золотарника обыкновенного – 39,1 %. Специфической особенностью этих насаждений также является присутствие здесь вместе с золотарником немалого числа других чужеродных видов североамериканского происхождения – *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*, *Conyza canadensis*, *Lupinus polyphyllus*, *Oenothera biennis*, *Phalacrologium annuum*. Адвентизация флоры (то есть доля чужеродных видов от общего числа видов) в насаждениях клена достигает 25 %, в насаждениях березы с доминированием в травяном ярусе вейника наземного и золотарника обыкновенного – 11,4 %, в насаждениях березы с доминированием в травяном ярусе золотарника обыкновенного – 21,7 %. Доля чужеродных видов в проективном покрытии в насаждениях клена – до 84 %, для насаждений 1 этот показатель составляет 66,8 %, для насаждений 2 – 36,2 %. Доля чужеродных деревьев в подросте максимальна в насаждениях клена с доминированием в травяном ярусе золотарника обыкновенного и достигает 100 %, минимальное значение отмечено в насаждениях березы с доминированием в травяном ярусе вейника наземного и золотарника обыкновенного – 2,6 %, в насаждениях березы с доминированием в травяном ярусе золотарника обыкновенного этот показатель равен 60 %.

ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований установлено, что лесные экосистемы Белорусского Полесья, в травяном ярусе которых доминирует *Solidago canadensis*, имеют следующие особенности:

- *S. canadensis* способен образовывать заросли в древостоях, имеющих разную степень сомкнутости (0,3–0,9);
- подрост деревьев, в котором чаще всего встречается североамериканский *Acer negundo* имеет низкую численность;
- в фитосоциологическом спектре отмечено преобладание видов, характерных для луговых и рудеральных сообществ;
- специфический спектр жизненных форм, отличающийся доминированием гемикриптофитов и снижением участия фанерофитов и геофитов по сравнению с фоновыми лесами;
- высокая степень антропогенной трансформации флоры, выражающаяся в значительной представленности синантропных (22,9–40 % от всех видов) и чужеродных (11,4–25,0 % от всех видов) растений.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Б20Р-090).

Список литературы

Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). – М.: ГЕОС, 2009. – 494 с.

Гусев А. П. Воздействие инвазии золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) на восстановительную сукцессию на залежах (юго-восток Беларуси) // Российский журнал биологических инвазий. – 2015. – № 1. – С. 10–16.

Гусев А. П. Задержка восстановительной сукцессии инвазивными видами растений (на примере юго-востока Белоруссии) // Экология. – 2017. – № 4. – С. 261–266.

Гусев А. П. Вторжение золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) в антропогенные ландшафты Беларуси // Российский журнал биологических инвазий. – 2017. – № 4. – С. 28–35.

Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломеш А. И. Современная наука о растительности. – М.: Логос, 2002. – 264 с.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). – СПб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.

Черная книга флоры Беларуси: чужеродные вредоносные растения / [Под общ. ред. В. И. Парфенова, А. В. Пугачевского]. – Мн: Беларуская навука, 2020. – 407 с.

Gusev A. P. Invasive Plant Species as Inhibitors of Restorative Successions // Contemporary Problems of Ecology. – 2019. – Vol. 12, N 3. – P. 213–219.

Gusev A. P. Effect of *Solidago canadensis* on the Species Diversity of Phytocenoses in Belarusian Polesye // Russian Journal of Ecology. – 2021. – Vol. 52, N 4. – P. 312–315.

Xu Z., Peng H., Feng Z., Abdulsalich N. Predicting current and future invasion of *Solidago canadensis*: A study from China // Polish Journal of Ecology. – 2014. – Vol. 62. – P. 263–271.

Gusev A. P., Shpilevskaya N. S. *Solidago canadensis* in forest ecosystems of Belarusian Polesie // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 70–75.

The article presents the results of research of invasion of *Solidago canadensis* L. in natural ecosystems of the Belarusian Polesie. The authors studied forest ecosystems prone to invasion by *S. canadensis*. It is found that *S. canadensis* is able to form thickets in stands which have varying degrees of closeness (0.3–0.9). The studied ecosystems are characterized by an almost complete absence of forest species and predominance of meadow and ruderal plant species. In their spectrum of life forms, hemicriptophytes dominate and the participation of phanerophytes and geophytes is reduced compared to background forests. Forests with *S. canadensis* have a high degree of anthropogenic transformation of flora expressed in significant representation of synanthropic (22.9–40 % of all species) and alien (11.4–25.0 % of all species) plants. The share of synanthropic species of the studied phytocenoses reaches 40 % in Canadian goldenrod plantations. A specific feature of these forests is the presence of a considerable number of other alien species of North American origin (*Robinia pseudoacacia* L., *Acer negundo* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronqist, *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Oenothera biennis* L., *Phalacrogl annuum* (L.) Dumort.) along with *S. canadensis*.

Key words: forest ecosystem, alien species, invader.

Поступила в редакцию 22.10.21

Принята к печати 18.11.21

УДК 633.34:[579.64:631.46]

Продуктивность симбиоза при инокуляции сои различными препаративными формами ризобий и их Tn5-мутантами

Сытников Д. М.¹, Шейко Е. А.²

¹ Севастопольский государственный университет
Севастополь, Россия
sytnikov@list.ru

² Медицинская академия имени С. И. Георгиевского Крымского федерального университета
имени В. И. Вернадского
Симферополь, Россия

В условиях полевых испытаний изучена продуктивность симбиотических систем сои *Glycine max* L. (Merr) при инокуляции семян биопрепаратами на основе клубеньковых бактерий *Bradyrhizobium japonicum*, полученных методами аналитической селекции (штаммы 6346 и 646) и транспозонового мутагенеза (Tn5-мутанты T118, T3-11 и T66). Показано, что в процессе изготовления бактериальных препаратов возможно использование отходов пищевой промышленности и кормопроизводства в качестве альтернативного источника углеводов. Перлит является технологичным носителем для изготовления бактериальных препаратов клубеньковых бактерий сои. Урожай семян, полученный в различных почвенно-климатических условиях, подтверждает целесообразность использования жидких бактериальных препаратов для предпосевной инокуляции сои. Наиболее эффективными, из изученных, оказались биопрепараты на твердом носителе, изготовленные с использованием гомологичного лектина. Максимальный урожай семян при этом достигал 37,4 ц/га. Внесение гомологичного лектина в бактериальную суспензию Tn5-мутантов T66 и T3-11 при изготовлении биопрепаратов достоверно увеличивало продуктивность сои. Результаты проведенных исследований указывают на возможность использования бактериальных препаратов на основе различных штаммов клубеньковых бактерий, в том числе полученных генетическими методами.

Ключевые слова: симбиоз, соя, клубеньковые бактерии, продуктивность, бактериальные препараты, гомологичный лектин.

ВВЕДЕНИЕ

Открытие микроорганизмов-азотфиксаторов привело к созданию в конце XIX века так называемых микробных удобрений. Однако развитие химизации, доступность и простота использования азотных удобрений на значительный период ослабили интерес к бактериальным препаратам. Экологизация аграрного производства требует изменения современных стратегий использования химических и биологических источников азотного питания растений. Проблема загрязнения окружающей среды и ограниченность невозобновляемых энергоресурсов ставят вопрос о возможностях максимального использования биологического азота.

Биологические препараты на основе азотфиксирующих микроорганизмов являются эффективным средством повышения продуктивности симбиоза (Сытников, 2012) и качества урожая при сохранении плодородия почв и соблюдении экологического баланса. Применение микробных препаратов позволяет регулировать численность и активность полезной микрофлоры в ризосфере растений и обеспечивать растения атмосферным азотом.

Цель представленной работы – изучить продуктивность симбиоза при инокуляции сои различными препаративными формами клубеньковых бактерий и их Tn5-мутантами при использовании гомологичного лектина.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили симбиотические системы, состоящие из растений сои сорта Марьяна (*Glycine max* L. Merr.) и клубеньковых бактерий (*Bradyrhizobium japonicum*) производственного штамма 6346, штамма 646 и его активных Tn5-мутантов – T118, T3-11 и T66. Для получения штаммов-мутантов (Новикова и др., 1986; Simon et al., 1986) в качестве донора, несущего плазмиду pSUP2021 с транспозоном Tn5 использовалась кишечная палочка *Escherichia coli* S17-1.

Подготовку питательных сред, добавок и носителей для выращивания и инкубирования микроорганизмов производили по общепринятым в микробиологии правилам (Нетрусов и др., 2005). После хранения в условиях музея при температуре 4 °С физиологическую активность клубеньковых бактерий восстанавливали в реактивационной (маточной) среде. Для этого смыв с косяка переносили в жидкую маннитно-дрожжевую среду (Child, 1975) или среду с альтернативными источниками углеводов и выдерживали при постоянной аэрации и 28 °С в течение 5 суток.

В соответствии со схемами опытов суспензию клубеньковых бактерий (2×10^7 кл/мл) инкубировали с водными растворами гомологичного лектина семян сои (SBA) при температуре 28 °С в течение 20 часов в соотношении 1:1. Конечная концентрация используемого белка в бактериальной суспензии с титром клеток 1×10^7 составляла 0, 100 и 300 мкг/мл.

Для получения препаратов на твёрдом носителе в подготовленную бактериальную суспензию вносили глюкозу, патоку и кукурузный экстракт в качестве питательных добавок. Полученной смесью инокулировали пакеты из непрозрачной полипропиленовой плёнки, содержащие стерильный перлит (фракция ≤ 25 мкм), предварительно смешанный с дефекатом (3 %) и водой (50 мл/130 г). Препараты на твёрдом носителе использовали через 20–30 дней после изготовления. Перед посевом семена инокулировали бактериальной суспензией или смывом с бактеризованного перлита. В контрольных вариантах растения оставались неинокулированными.

Микрополевые и полевые опыты (Доспехов, 1985) проводили на серой или тёмно-серой оподзоленной почвах (рН 5,9–6,0) с содержанием легкогидролизуемого азота в пределах 10,4–12,7, гумуса – от 1,2 до 2,0 мг/100 мг почвы соответственно. Предшественником по севообороту были овощные культуры. Норма высева семян сои – 600 тыс. всхожих семян/га, учётная площадь делянок 2 или 5 м², расположение – рендомезированное, повторность во всех опытах – четырёхкратная. Полученные результаты обрабатывали статистически. В таблицах и в тексте представлены %, средние арифметические, стандартные ошибки и НСР. Достоверность разницы значений оценивали, используя 5 % уровень значимости ($P \leq 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Создание бактериальных препаратов требует учитывать необходимость длительного поддержания жизнедеятельности бактерий в питательной среде или на определённом субстрате без ущерба для их активности, что способствовало бы более широкому их применению (Завалин и др., 2000). В процессе изготовления бактериальных препаратов нами успешно использовались отходы пищевой промышленности и кормопроизводства в качестве альтернативного источника углеводов. Перлит и вермикулит ранее были выбраны нами в качестве технологичных носителей для изготовления бактериальных препаратов (Коць и др., 2006). Перлит, используемый в представленных ниже исследованиях, также проявил себя как надёжный и технологичный носитель.

Известно, что лектин сои, вносимый в бактериальную суспензию для инокуляции семян, способен оказывать влияние на физиологические показатели и продуктивность симбиоза в концентрации от 2 до 300 мкг/мл, что было показано в условиях лабораторных, вегетационных и полевых испытаний (Маменко и др., 2003; Сытников и др., 2007).

Обычно биопрепараты хранятся различное по продолжительности время и используются в полевых неконтролируемых условиях, что требовало подбора оптимальной концентрации лектина для повышения их эффективности. Бактериальные препараты производятся в жидкой форме, а также на твёрдом носителе с использованием различных добавок, что, возможно, могло отразиться на свойствах вносимого лектина. В связи с этим обстоятельством, нами была выбрана максимальная из ранее изученных его доз – 300 мкг/мл бактериальной суспензии. В то же время, учитывая необходимость эффективного функционирования симбиоза и экономическую целесообразность применения лектина в качестве компонента бактериальных удобрений, меньшей исследуемой дозой мы избрали 100 мкг данного белка на 1 мл бактериальной суспензии.

Интегральным показателем влияния различных факторов на жизнедеятельность растений, в нашем случае – различных биопрепаратов и гомологичного белка, является их продуктивность. Урожай семян сои, полученный нами ранее в различных почвенно-климатических условиях, указывает на целесообразность использования жидких бактериальных препаратов, модифицированных гомологичным лектином (Сытников и др., 2007). Так, внесение в бактериальную суспензию перед инокуляцией гомологичного лектина в концентрации 100 мкг/мл приводило к прибавке урожая в среднем на 24,9 %. Внесение 300 мкг/мл бактериальной суспензии повышало этот показатель в среднем на 10,9 % соответственно.

Наиболее эффективными, из изученных нами, оказались биопрепараты на твёрдом носителе, изготовленные с использованием гомологичного лектина в концентрации 100 мкг/мл (табл. 1). Урожай семян при этом составил 37,4 ц/га.

Таблица 1

Продуктивность симбиоза при инокуляции сои (*Glycine max* L. Merr) биопрепаратами (твёрдый носитель) клубеньковых бактерий (*Bradyrhizobium japonicum*, 6346), содержащими гомологичный лектин

| Концентрация лектина, мкг/мл бактериальной суспензии | Урожай семян, ц/га* | Прирост урожая в сравнении с контролем | |
|--|---------------------|--|------|
| | | ц/га | % |
| 0 | 30,6 ± 1,1 | – | – |
| 100 | 37,4 ± 1,1 | 6,8 | 22,2 |
| 300 | 36,0 ± 1,5 | 5,4 | 17,6 |
| НСР _{0,05} | 3,9 | | |

Примечание к таблице. «*» – среднее по трём полевым опытам.

Высокая эффективность бактериальных препаратов на твёрдом носителе, очевидно, была обусловлена более благоприятными условиями используемой среды для ризобий и внесением питательных добавок. Можно было бы предположить, что в жидком препарате бактерии больше контактировали с лектином, однако, известно, что после 10 мин инкубирования ризобий с лектином агглютинирующая активность белка в суспензии уменьшается на 50–75 % и остаётся постоянной в течение последующих 20 ч независимо от вида лектина и штамма ризобий. Следовательно, в первые минуты инкубирования происходит частичное связывание лектина клубеньковыми бактериями, которое и оказывает влияние на метаболизм клетки, активируя её и подготавливая к кооперированию с растением-хозяином (Маліченко, 2002). Возможно, с этими процессами связан и характер влияния различных концентраций

лектина, вносимого в бактериальную суспензию, тем более, что значительная его часть, оставаясь несвязанной, может сохраняет свою активность.

Для создания эффективных симбиотических систем «бобовые растения – ризобии» необходим подбор не только растений, но и микросимбионтов. Последние получают с помощью различных методов, в том числе и генно-инженерных. Известно, что гены, контролирующие взаимодействие клубеньковых бактерий с макросимбионтом, не могут проявляться в чистой культуре, поэтому анализ симбиотических свойств бактерий возможен только в условиях симбиоза (Тихонович, Проворов, 1998).

В нашей работе препараты на твёрдом носителе готовили не только на основе штамма-эталона 6346, но и с использованием Tn5-мутантов, полученных методом транспозонового мутагенеза, и их исходного штамма 646. Из таблицы 2 следует, что продуктивность растений, инокулированных штаммами-транспозантами превышала (Т66 и Т3-11) аналогичные показатели их исходного штамма (646) или оставалась в пределах ошибки опыта (Т118). Внесение гомологичного лектина в бактериальную суспензию штамма-эталона 6346, а также Tn5-мутантов Т66 и Т3-11 достоверно увеличивало урожай семян сои (см. табл. 2).

Таблица 2

Продуктивность симбиоза при инокуляции сои (*Glycine max* L. Merr) биопрепаратами (твёрдый носитель) клубеньковых бактерий (*Bradyrhizobium japonicum*) и их Tn5-мутантов, содержащими гомологичный лектин

| Штамм | Концентрация лектина, мкг/мл бактериальной суспензии | Урожай семян, ц/га | Прирост урожая в сравнении с штаммом-эталонем | |
|---------------------|--|--------------------|---|-------|
| | | | ц/га | % |
| 6346 (эталон) | 0 | 22,5 ± 0,7 | – | – |
| | 100 | 25,8 ± 1,1* | 3,3 | 14,7 |
| 646 (исходный) | 0 | 22,2 ± 0,8 | – 0,3 | – 1,3 |
| | 100 | -- | -- | -- |
| Т66 (Tn5) | 0 | 26,1 ± 0,7* | 3,6 | 16,0 |
| | 100 | 29,0 ± 0,7* | 6,5 | 28,9 |
| Т3-11 (Tn5) | 0 | 23,6 ± 0,8 | 1,1 | 4,8 |
| | 100 | 26,4 ± 0,7* | 3,9 | 17,3 |
| Т118 (Tn5) | 0 | 21,1 ± 0,9 | – 1,4 | – 6,2 |
| | 100 | 24,9 ± 0,7 | 2,4 | 10,7 |
| НСР _{0,05} | | 2,5 | | |

Примечание к таблице. «--» – показатель не определяли; «*» – разница достоверна в сравнении с штаммом-эталонем без использования гомологичного лектина.

Полученные данные указывают на эффективность использования бактериальных препаратов, как жидких, так и изготовленных на твёрдом носителе. При изготовлении бактериальных препаратов возможно использование различных штаммов ризобий, в том числе полученных генетическими методами. Использование биопрепаратов на различных носителях, содержащих гомологичный лектин, даёт возможность повышать эффективность симбиотической системы сои и увеличивать её продуктивность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе изготовления бактериальных препаратов возможно использование отходов пищевой промышленности и кормопроизводства в качестве альтернативного источника углеводов. Перлит, использовавшийся нами в серии полевых испытаний, проявил себя как технологичный носитель для изготовления бактериальных препаратов клубеньковых бактерий сои.

Урожай семян сои, полученный в различных почвенно-климатических условиях, подтверждает целесообразность использования жидких бактериальных препаратов для предпосевной инокуляции. Наиболее эффективными оказались биопрепараты ризобий на твёрдом носителе (перлит), изготовленные с использованием гомологичного лектина.

Результаты проведённых исследований указывают на возможность применения бактериальных препаратов на основе различных штаммов клубеньковых бактерий, в том числе полученных генетическими методами.

Список литературы

- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
- Завалин А. А., Духанина Т. М., Чистотин М. В. и др. Оценка эффективности микробных препаратов в земледелии. – М.: РАСХН, 2000. – 82 с.
- Коць С. Я., Сытников Д. М., Маличенко С. М., Воробей Н. А. Жизнеспособность и эффективность *Bradyrhizobium japonicum* при различных технологиях изготовления бактериальных препаратов // Сільськогосподарська мікробіологія: Міжвід. темат. наук. зб. – Чернігов, 2006. – Вып. 4. – С. 39–50.
- Маличенко С. М., Даценко В. К., Маменко П. М., Коць С. Я. Участь лектинів специфічних і неспецифічних до бульбочкових бактерій бобових рослин у формуванні і функціонуванні азотфіксуючого симбіозу // Наукові записки Тернопільського педагогічного університету. – 2002. – № 3 (18). – С. 49–57.
- Маменко П. М., Маїченко С. М., Даценко В. К., Коць С. Я. Симбіотичні властивості і продуктивність сої залежно від концентрації її лектину в інокуляційній суспензії *Bradyrhizobium japonicum* 6346 // Физиология и биохимия культ. растений. – 2003. – Т. 35, № 3. – С. 215–221.
- Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии / [Ред. А. И. Нетрусов]. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 608 с.
- Новикова Н. И., Шарыпова Л. А., Симаров Б. В. Транспозоновый мутагенез у штамма СХМ1-105 *Rhizobium meliloti* // Молекулярная генетика. Микробиология и вирусология. – 1986. – № 8. – С. 32–36.
- Сытников Д. М. Биотехнология микроорганизмов-азотфиксаторов и перспективы применения препаратов на их основе // Biotechnologia Acta. – 2012. – Т. 5, № 4. – С. 34–45.
- Сытников Д. М. Эффективность биопрепаратов клубеньковых бактерий сои, модифицированных гомологичным лектином // Прикладная биохимия и микробиология. – 2007. – Т. 43, № 3. – С. 304–310.
- Тихонович И. А., Проворов Н. А. Генетика симбиотической азотфиксации с основами селекции. – СПб.: Наука, 1998. – 194 с.
- Child J. J. Nitrogen fixation by a *Rhizobium* sp. Association with non-leguminous plant cell cultures // Nature. – 1975. – Vol. 253, Iss. 5490. – P. 350–351.
- Simon R., O'Connell M., Labes M., Pühler A. Plasmid vector for the genetic analysis and manipulation of rhizobia and other gram-negative bacteria // Methods Enzymol. – 1986. – 118. – P. 640–659.

Sytnikov D. M., Sheyko E. A. Productivity of symbiosis upon inoculation of soybeans with various preparative forms of rhizobia and their Tn5-mutants // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 76–81.

In field trials, the productivity of symbiotic systems of soybean *Glycine max* L. (Merr) was studied upon inoculation of seeds with biological preparations based on nodule bacteria *Bradyrhizobium japonicum* obtained by analytical selection (strains 634b and 646) and transposon mutagenesis (Tn5-mutants T118, T3-11 and T66). It is proved that is possible to use waste from the food industry and animal feed production industry as an alternative source of carbohydrates for manufacturing bacterial preparations. Perlite is a technological carrier for the production of bacterial preparations of soybean nodule bacteria. The harvest of seeds obtained in various soil and climatic conditions confirms the justification of using liquid bacterial preparations for pre-sowing inoculation of soybean. The most effective of studied preparations are biopreparations on a solid carrier which was produced using homologous lectin. The maximum seed yield reached 37.4 kg/ha. The addition of homologous lectin to the bacterial suspension of Tn5-mutants T66 and T3-11 during the production of biopreparations significantly increased the productivity of soybean. The results of the research indicate the possibility of application of bacterial preparations based on various strains of nodule bacteria, including preparations produced by genetic methods.

Key words: symbiosis, soybean, nodule bacteria, productivity, bacterial preparations, homologous lectin.

*Поступила в редакцию 17.11.21
Принята к печати 20.11.21*

УДК 591.1:595.3:574.52(262.5)

К вопросу о вкладе перифитонной микрофлоры в совместное потребление кислорода при измерении скорости дыхания водных животных

Чекалов В. П.

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
valch@mail.ru

В ходе измерения скорости дыхания трех представителей зообентоса: амфиподы, полихеты и моллюска была предпринята попытка вычленить уровень потребления кислорода ассоциированной с их поверхностью тела микрофлорой перифитона. Методические особенности, связанные с фиксацией убыли окислителя в замкнутых емкостях, определяют получение суммарной величины процесса. Корректировка, как правило, осуществляется лишь в отношении бактерий планктона. С целью разграничения потоков кислородного потребления были применены два подхода. В одном из них, добивались смерти животного в результате естественной асфиксии вследствие истощения кислорода с последующим, после повторного насыщения, определением его бактериальной утилизации. Во-втором наоборот, с помощью антибиотика широкого спектра действия (стрептомицина), подавляли активность микрофлоры. В результате были получены достаточно близкие соотношения. Так, в теплое время года вклады непосредственно особой гаммаруса (*Echinogammarus olivii*) и полихеты рода *Malacoceros*, измеренные по первой схеме, составляли 30–40 %. Исследование с *Mytilus galloprovincialis* проводили вторым способом параллельно при текущей температуре среды обитания (4 °С) и экспериментальной (23 °С), имитирующей летний период. В теплое время года доля гидробионта также оказалась в этом же диапазоне – 36 %, тогда как в условиях зимних температур повышалась до 66 %. Отсюда можно сделать вывод, что имеющиеся данные по интенсивности дыхания водных животных, по-видимому, несколько завышены.

Ключевые слова: дыхание гидробионтов, потребление кислорода, перифитон, Черное море

ВВЕДЕНИЕ

Использование кислорода является основной физиологической функцией живых существ, определяя тип и интенсивность метаболизма. В этой области накоплен значительный объём данных по огромному количеству представителей различных таксономических групп. Так, в монографии (Сушня, 1972) приведены обширные сведения по респираторной активности у более чем 100 видов ракообразных. Показано в частности, что скорость дыхания мидий варьирует в довольно значительных пределах: 0,095–0,638 мл O₂/час/экз, в среднем составляя 0,38 мл O₂ /час/экз (Сытник, Золотницкий, 2019). Основным методом подобных исследований является регистрация в течение определенного времени изменения содержания кислорода в замкнутых респирометрических ёмкостях. Однако, за простотой процедуры измерения, как правило, остается незамеченным вклад в этот процесс микрофлоры, тесно ассоциированной с поверхностью тела животного. При этом известно о весьма энергичной утилизации кислорода бактериями, деятельность которых способна привести к полной элиминации окислителя в водной среде.

Цель настоящей работы – изучить респираторно-трофические отношения в сообществах некоторых представителей гидробионтов и ассоциированных с ними гетеротрофных бактерий-сателлитов перифитона в Севастопольской бухте и заливе Донузлав Черного моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили отловленные в августе в Севастопольской бухте представители гаммаруса *Echinogammarus olivii* (Milne-Edwards, 1830) размером примерно 5 мм при весе 8,2 мг и полихета рода *Malacoceros* весом 5,6 мг с длиной тела 4 мм, а также

мидии *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) длиной 30 мм, собранные в заливе Донузлав в зимнее время года (февраль).

Измерение скорости потребления кислорода проводили с помощью респирометрической камеры объёмом 60 мл, герметично соединённой с кислородным датчиком LDO–оксиметра HQ40d (Hach, США). Результаты регистрировали в автоматическом режиме с интервалом в час. Первоначально определяли его совокупное потребление всей биотической составляющей: представителем макрофауны, сопутствующей перифитонной микрофлорой и бактериопланктоном. С гаммарусами и полихетами измерение осуществляли до естественной, вследствие асфиксии, гибели животных, после чего трупы помещали в новую порцию насыщенной кислородом морской воды, с последующим определением утилизации кислорода микробным сообществом, как ассоциированным с животными, так и свободноживущими формами. Вычитание измеренной далее скорости дыхания бактериопланктона в морской воде позволило получить данные о вкладе уже непосредственно перифитонной микрофлоры.

Ранее проведенные эксперименты (Чекалов и др., 2015) показали, что более адекватные результаты, из-за индивидуальных различий порога кислородного голодания, получались с единичными экземплярами.

Несколько иная схема была использована в экспериментах с мидиями. Здесь мы наоборот, с помощью антибиотика широкого спектра действия подавляли микрофлору, измеряя дыхание моллюска. С этой целью, после определения суммарного потребления кислорода до его остаточного содержания 3 мг/л и замены воды на более аэрированную, в респирометрическую ёмкость с моллюском вносили рабочий раствор стрептомицина из расчета конечной концентрации 0,1 мг/мл. Определяли скорость процесса как при реальной температуре (4 °С), так и в экспериментальных условиях (25 °С), типичных для летнего периода. Предварительно часть особей адаптировалась к этой температуре в течение двух суток. В дальнейшем, измерив потребность в кислороде бактериопланктона, вычисляли вклад непосредственно ассоциированной с мидией микрофлоры.

При определении размерно-весовых характеристик гидробионтов использовали соответствующие формулы пересчета (Биоэнергетика гидробионтов, 1990; Brown et al., 2004; Алимов и др., 2013).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обработанные согласно методическим особенностям данные представлены в таблице 1. При этом следует иметь ввиду, что для гидробионтов и бактерий-сателлитов они рассчитаны на единичную особь вне зависимости от ёмкости измерительной камеры, в нашем случае равной 60 см³. В то же время, поглощение кислорода бактериопланктоном в черноморской воде приведено конкретно для этой ёмкости, что предполагает коррекцию полученных значений при пересчете на иные объёмы.

Таблица 1

Скорость потребления кислорода в системе сообщества представителей макробентосных организмов (МО), бактерий-сателлитов перифитона (B_S) и свободноживущей водной микрофлоры (B_W)

| Объект исследования | t, °С | Потребление кислорода, мкг/ч | | | |
|---------------------|-------|-----------------------------------|----------|----------------|----------------|
| | | МО+B _S +B _W | МО | B _S | B _W |
| Мидия | 4 | 12,5±2,6 | 8,3±2,2 | 2,3±2,5 | 1,9±2,1 |
| | 23 | 110,6±22,7 | 40,3±5,6 | 60,5±2,5 | 9,8±0,4 |
| Гаммарус | 27 | 23,6±1,8 | 4,4±0,3 | 10,4±3,9 | 8,8±3,6 |
| Полихета | 28 | 14,5±3,0 | 2,6±1,0 | 5,1±2,1 | 6,8±0,6 |

Так, если выразить наши результаты через БПК₅, получим колебание от 4 мг О₂/л при 4 °С до 20 мг О₂/л в летний период. Это превышает приведенные в литературе значения (Дбар и др., 2018; Рябушко и др., 2020), что связано с отклонением температурного режима, условий транспортировки и хранения используемой морской воды. Тем не менее, данный параметр в расчетах выполняет вспомогательную функцию, и его величина при этом не имеет принципиального значения. Вычитая его, мы получаем то значение, которое принято считать скоростью потребления кислорода гидробионтами (Алимов и др., 2013) или скоростью обмена (Сушня, 1972), что в нашем случае соответствует сумме значений в графах МО и В_с. В частности, для гаммаруса оно составляет 14,8 мкг О₂/ч. При этом, рачок весом 8,2 мг при температуре 25 °С потреблял в среднем 4,4±0,3 мкг О₂/ч, что более чем в два раза меньше, чем ассоциированные с ним перифитонные бактерии.

Многочисленными экспериментами показано, что для ракообразных при 20 °С зависимость СПК от массы тела описывается уравнением $Q = 0,18W^{0.75}$, где W – вес особи в граммах сырого веса (Винберг, 1983; Алимов и др., 2013). Л. М. Сушня предлагает обобщенную формулу для амфипод в следующем виде: $Q = 0,142W^{0.79}$ (Сушня, 1972). Это дает более низкие значения, но далее он замечает, что такой уровень характерен для малоподвижных особей, в противном случае коэффициент a перед весом животного будет близок к 0,2. Тогда, в нашем случае, для рачка массой 0,0082 г при 25 °С значение Q составляет 0,0049 мл О₂/экз/ч, или в весовых единицах и с учётом температурной поправки Вант-Гоффа – 10,64 мкг О₂/ч. Как можно видеть, это значение близко к полученной нами суммарной респираторной активности гаммаруса и связанных с ним бактерий (14,8 мкг/ч), а доля потребления кислорода непосредственно рачком составила порядка 30 % от этой величины.

Для полихет уравнение имеет вид: $Q = 0,130W^{0.81}$ (Камлюк, 1974). Тогда особь весом в 0,0056 г согласно аналогичным расчетам должна потреблять кислорода порядка 5,6 мкг/ч, что соответствует у нас сумме значений в графах МО и В_с (7,7 мкг О₂/ч). При этом вклад в этот процесс непосредственно животного составляет лишь 34 %.

Таким образом, исследования респираторной активности гидробионтов в совокупности со связанной с ними сапрофитной микрофлорой показали, что в тёплое время года доля животного в этой системе, как правило, не превышает 30–40 %, а в общем потреблении кислорода с бактериопланктоном была ещё меньше – порядка 20 % (рис. 1).

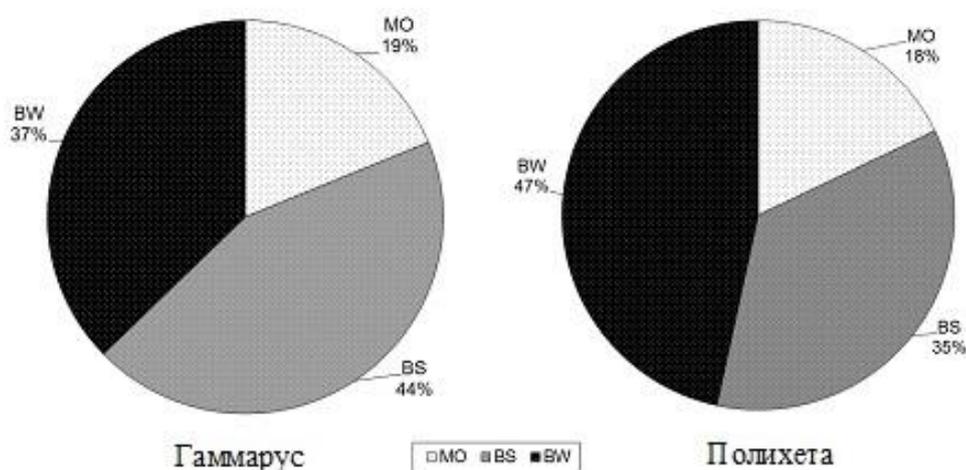


Рис. 1. Респираторная активность в системе макроорганизм-хозяин (МО), бактериопланктона (BW), а также сапрофитной водной микрофлоры (BS)

Сообщалось (Жаворонкова и др., 2017), что с повышением температуры воды с 7 до 25 °С происходит устойчивый рост уровня потребления кислорода моллюсками *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906), достигающее максимального значения при температуре 20 °С. Температурный оптимум для мидий несколько ниже, порядка 14–15 °С (Сухотин, 1988). При этом, потребление кислорода в условиях нормоксии (95–97 % насыщения) и температуре воды 17–20 °С у *Anadara inaequivalvis* (Bruguiere, 1789) составляло $0,040 \pm 0,014$ мг O_2 /час/экз, что в 7 раз ниже, чем у мидий – $0,284 \pm 0,065$ мг O_2 /час/экз. (Солдатов и др., 2005). Следует заметить, что для исследования отбирались особи анадары с длиной раковины 30–33 мм, а *M. galloprovincialis* – размером 50–55 мм. По данным испанских исследователей особи средиземноморской мидии размером $60,06 \pm 0,84$ мм потребляют кислород со скоростью $0,482 \pm 0,015$ мл/ч (Samacho et al., 2000).

Проведенные нами зимой исследования дыхания мидий при естественной температуре, а также в экспериментальных условиях, соответствующих летнему периоду, показали, что в холодное время года потребление кислорода моллюсками сокращалось почти в 5 раз, тогда как активность перифитонной микрофлоры снижалась в 26 раз (рис. 2).

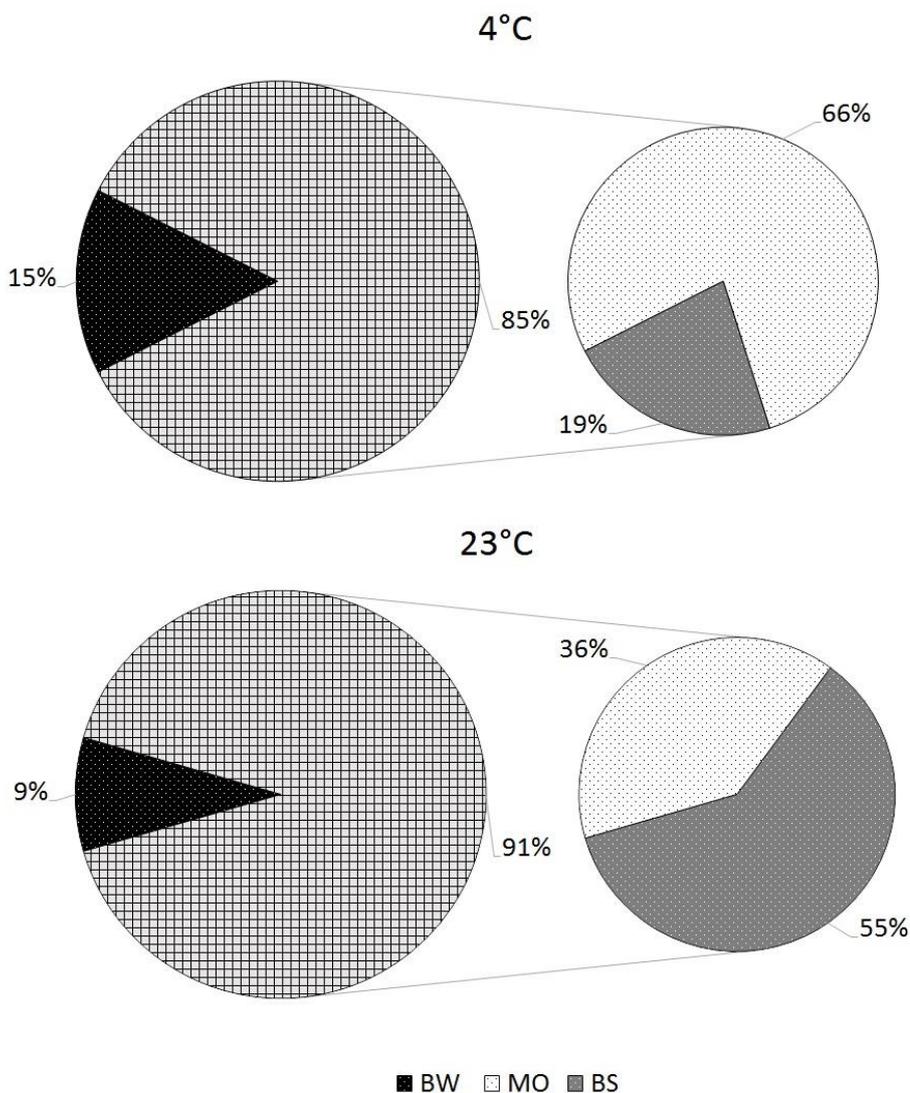


Рис. 2 Соотношение скорости дыхания в мидийно-бактериальном сообществе при температурных условиях среды обитания (4 °С) и при экспериментальных условиях, моделирующих летний период (23 °С)

В результате, доля животного возростала до 66 % против 36 % в теплой среде. Как видно, в оптимальных температурных условиях данные, полученные с помощью разных методических подходов, оказались близкими. Зимой же в общем потреблении кислорода увеличивалась также и доля свободноживущей водной микрофлоры с 9 % до 15 %, несмотря на то, что количественно скорость дыхания бактериопланктона, тем не менее, снижалась в 5 раз.

Предложено несколько степенных выражений, описывающих скорость потребление кислорода двустворчатыми моллюсками, в частности мидиями, что указывает на зависимость этого параметра от условий окружающей среды и физиологического состояния животного. Вариативность связана в основном с коэффициентом, тогда как степенной показатель достаточно стабилен в пределах 0,68–0,72. Так, потребление кислорода в нашем случае для экземпляра размером 3 см после пересчета на вес тела и в соответствии с формулой $Q = 0,066W^{0,721}$ (Алимов и др., 2013) составляет – 119 мкг O_2 /ч/экз. Для моллюсков той же размерности расчет по формулам, приведенным к температурам 7 и 14 °С дали соответственно 106 и 180 мкг O_2 /ч/экз (Золотницкий и др., 2018). Как видно, эти значения соответствуют полученному нами суммарному потреблению кислорода животным и ассоциированными с ним бактериями.

Хотелось бы обратить внимание, что полученные нами результаты потребления кислорода сателлитной микрофлорой, по всей видимости, несколько завышены. Какую-то дополнительную прибавку в ходе утилизации поступающего органического вещества в результате жизнедеятельности животного дают также и представители бактериопланктона. Ведь мы определяем и в дальнейшем вычитаем из суммарного значения скорость поглощения кислорода в морской воде, лишенной представителей фауны, и соответственно, их биологических выделений. Сообщалось в частности, что суммарная масса биоотложений, образованных при выращивании мидий, составляет более 30 % от массы урожая выращенных моллюсков (Золотницкий, 2011).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, если вклад свободноживущей водной микрофлоры всё же учитывается в ходе измерения дыхания гидробионтов, то потребление кислорода сопутствующими бактериями–сожителями обычно включается в их совместную респираторную активность. Из этого следует, что имеющиеся данные по интенсивности дыхания водных животных, по-видимому, несколько завышены. И если при некоторых исследованиях на макроуровне это не является принципиально важным, то такой подход при изучении физиологических особенностей отдельных особей, связанных с энергетическими потоками, может привести к искажению результатов.

Благодарности. Автор выражает признательность к б. н. В. А. Тимофееву и м. н. с. Л. В. Бондаренко за помощь в сборе материала для исследования.

Работа подготовлена по теме №0556-2021-0003 государственного задания ФИЦ ИнБЮМ «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом», номер гос. регистрации 121041400077-1.

Список литературы

- Алимов, А. Ф., Богатов В. В., Голубков С. М. Продукционная гидробиология / [Под ред. В. В. Хлебовича]. – СПб: Наука, 2013. – 342 с.
 Биоэнергетика гидробионтов / [Ред. Г. Е. Шульман, Г. А. Финенко]. – Киев: Наук. думка, 1990. – 246 с.
 Винберг Г. Г. Температурный коэффициент Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса в биологии // Журнал общей биологии. – 1983. – Т. 44, № 1. – С. 31–42.

- Дбар Р. С., Гицба Я. В., Эмба Я. А. Термический режим поверхностного слоя вод и окислительные процессы в прибрежной зоне сухумской акватории Черного моря // Наука юга России. – 2018. – Т. 14, № 4. – С. 53–60.
- Жаворонкова А. М., Золотницкий А. П., Сытник Н. А. О влиянии массы тела и температуры воды на интенсивность дыхания анадара – *Anadara ka-goshimensis* (Tokunaga, 1906) Азово-Черноморского бассейна // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 70–81.
- Золотницкий А. П. О влиянии крупномасштабного культивирования мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) на экосистему шельфовой зоны Черного моря // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2011. – Т. 24, № 4. – С. 73–82.
- Золотницкий А. П., Сытник Н. А., Горбенко В. А. К вопросу взаимосвязи процессов дыхания и питания черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis* Lamark) // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства. (Ростов-на-Дону, 11–12 декабря 2018 г.). – Ростов-на-Дону, 2018. – С. 53–56.
- Камлюк Л. В. Энергетический обмен у свободноживущих плоских и кольчатых червей и факторы его определяющие // Журнал общей биологии. – 1974. Т. – 35, № 6. – С. 874–885.
- Рябушко В. И., Щуров С. В., Ковригина Н. П., Лисицкая Е. В., Поспелова Н. В. Комплексные исследования экологического состояния прибрежной акватории Севастополя (Западный Крым, Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2020. – № 1. – С. 103–118. DOI: 10.22449/2413-5577-2020-1-103-118
- Солдатов А. А., Столбов А. Я., Головина И. В., Андреев Т. И., Холодов В. И. Тканевая специфика метаболизма у двустворчатого моллюска-вселенца *Anadara inaequalis* Br. // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. – 2005. – 4, № 27. – С. 230–232.
- Сухотин А. А. Дыхание беломорских мидий в условиях культивирования // Экология. – 1988. – № 2. – С. 55–60.
- Сушеня Л. М. Интенсивность дыхания ракообразных. – Киев: Наук. думка, 1972. – 195 с.
- Сытник Н. А., Золотницкий А. П. Энергетический бюджет и эффективность использования пищи на рост у черноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis*) // Экосистемы. – 2019. – № 20 (50). – С. 105–116.
- Чекалов В. П., Бондаренко Л. В., Тимофеев В. А. Потребление кислорода как совокупность респираторной активности *Echinogammarus olivii* и ассоциированной с ними микрофлоры // Биоразнообразие и механизмы адаптации организмов в условиях техногенного загрязнения: Материалы Всероссийской научной конференции (Сибай, 17–18 сентября 2015 г.). – Сибай, 2015. – С. 69–72.
- Brown J. H., Gillooly J. F., Allen A. P., Savage V. M., West G. B. Towards a metabolic theory of ecology // Ecology. – 2004. – Vol. 85. – P. 1771–1789.
- Camacho A. P., Labarta U., Navarro E. Energy balance of mussels *Mytilus galloprovincialis*: the effect of length and age // Marine Ecology Progress Series. – 2000. – Vol. 199. – P. 149–158.

Chekalov V. P. Contribution of periphyton microflora to joint oxygen consumption in process of measuring the respiration rate of aquatic animals // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 82–87.

An attempt was made to separate out the level of oxygen consumption by the periphyton microflora associated with body surface of three representatives of zoobenthos: amphipods, polychaetes and mollusks while measuring the respiration speed. Conventional methods are based on fixing the loss of oxidant in closed containers. In this case, the total speed of the process is determined. Adjustments are usually made only for plankton bacteria. Two approaches were applied to differentiate the flows of oxygen consumption. In one of them, the death of the animal was achieved as a result of natural asphyxia due to depletion of oxygen. Further, its bacterial utilization was determined after re-saturation. In second case, on the contrary, the activity of microflora was suppressed with the help of a broad-spectrum antibiotic (streptomycin). In result, fairly close ratios were obtained. Thus, in the warm season, the contribution of individuals of gammarus and polychaetes, measured by the first method, was 30–40 %. The study with *M. galloprovincialis* was carried out applying the second approach at two temperature regimes: at current temperature of the habitat (4 °C) and at experimental temperature (23 °C), simulating the summer period. The proportion of hydrobiont also was in the same range (36 %) in the warm season but it increased to 66 % in winter conditions. Hence, it can be concluded that the available data on the respiration speed of aquatic animals, apparently, are somewhat overestimated.

Key words: respiration of aquatic organisms, oxygen consumption, periphyton, Black Sea.

Поступила в редакцию 02.02.21

Принята к печати 03.04.21

УДК 595.76:632.76(470.620)

Божьи коровки (Coleoptera: Coccinellidae) города Краснодара и их роль в биологическом подавлении фитофагов

Цыгикало И. С.¹, Попов И. Б.^{2,3}, Хомицкий Е. Е.²

¹ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко»,
Краснодар, Россия
inna.gordeeva@bk.ru

² «Кубанский государственный аграрный университет» имени И.Т. Трубилина
Краснодар, Россия
eugeneexe@mail.ru

³ Федеральный научный центр биологической защиты растений
Краснодар, Россия
ibento@yandex.ru

В ходе изучения энтомофауны в семи урбозкосистемах для города Краснодара было отмечено 25 видов божьих коровок (Coccinellidae). Распределение видов и их численность внутри города крайне неравномерно и зависит от флористического биоразнообразия локалитета и развития кормовой базы. В целом фауна носит бореальный характер, доминируют транспалеарктические (76%) и голарктические (16%) виды коровок. По трофической специализации выделены 5 групп: афидофаги – 14 видов, кокцидофаги – 7 видов, мицетофаги – 2 вида, фитофаги и акарифаги – по 1 виду. Наиболее массовым является инвазивный вид *Harmonia axyridis*, кроме него к группе доминантов относятся *Hippodamia variegata*; *Adalia bipunctata*, *Coccinella septempunctata* и *Tytthaspis sedecimpunctata*. 8 видов коровок являются редкими, их доля в сборах составляет менее 3%: *Nephus redtenbacheri*, *Scymnus auritus*, *S. interruptus*, *Platynaspis luteorubra*, *Exochomus quadripustulatus*, *Anisosticta novemdecimpunctata*, *Vibidia duodecimguttata*, *Hippodamia tredecimpunctata*. Анализ локальных городских фаун на основе коэффициента Жаккара показал их разделение на три кластера, которые отличаются растительным составом и степенью изученности. Вид *H. axyridis* представлен в фауне Краснодара тремя формами: *succinea*, *spectabilis*, *conspicua* и их многочисленными вариациями, широко распространен во всех экосистемах города и края. Имаго и личинки *H. axyridis* способны успешно контролировать популяции различных сосущих фитофагов, в том числе до 100 % подавлять отдельные популяции опасного политрофного инвайдера *Metcalfa pruinosa*, если находят их на ранних стадиях. *H. axyridis* успешно конкурируют с аборигенной фауной хищных коровок и другими энтомофагами.

Ключевые слова: божьи коровки, фауна, распространение, урбозкосистема, Краснодар

ВВЕДЕНИЕ

Мировая фауна кокцинелид (Coleoptera: Coccinellidae) насчитывает порядка 6000 видов, обитающих преимущественно в тропиках (Vandenberg, 2002); около 2000 встречается в Палеарктике. На территории бывшего СССР отмечен 221 вид из 44 родов, в России – 167 вида из 41 рода (Хабибуллин, 2011). В Европейской части России и на Северном Кавказе известно около 100 видов (Беньковский, 2020). Божьи коровки являются активными хищниками, преимущественно сосущих вредителей: тлей, кокцид, трипсов, паутиных клещей, и тем самым играют существенную роль в регулировании численности вредителей сельскохозяйственных и декоративных культур. Божьи коровки достаточно многочисленны не только в естественных биоценозах, но и в городах, где они способны найти достаточное количество разнообразной пищи, которой служат различные мелкие фитофаги, преимущественно тли, щитовки, цикадки. К этому же некоторые виды кокцинелид успешно освоили человеческие строения в качестве мест зимовки (Савойская, 1981), в том числе, инвайдер *Harmonia axyridis* (рис. 1).

Фауна жуков-кокцинелид изучалась в ряде городов Европейской части России. На территории Москвы и Московской области зарегистрировано 52 вида коровок (Украинский,



Рис. 1. Зимовка *Harmonia axyridis* в хозпостройках, г. Горячий Ключ, 2018 г.

2007). В Уфе общий список фауны коровок составляет 22 вида (Хабибуллин, Муравицкий, 2007). Фауна кокциnellид Калуги насчитывает 26 видов (Алексанов, 2008). В городе Ставрополе обнаружено 13 видов (Мохрин, 2007). В антропогенных ландшафтах Читы обнаружено 39 видов из 23 родов (Бутько, 2005).

Целью данной работы являлось изучение видового состава группы жесткокрылых насекомых из семейства Coccinellidae, обитающих в г. Краснодар и его пригороде. Данные исследования выполнены отчасти при поддержке РФФИ (проекты 19-44-230004 р_а и 19-44-233007 р_мол_а).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Учеты кокциnellид проводились в фазе взрослых жуков (имаго) и преимагинальных стадий в 2016 – 2020 годы в течение основного периода активности имаго (апрель – сентябрь). Кроме того, учитывались жуки, прерывающие зимовку в периоды потепления (Попов, Антонец 2018). Сбор жуков и исследование их пищевых объектов проводились в г. Краснодар в семи локалитетах (табл. 1).

Первый локалитет, который обозначен как Центральная часть города, представлен парковой растительностью, находящейся в виде небольших скверов, клумб и зеленой зоны бульвара на ул. Красной. Здесь не менее 5-6 раз в сезон производится кошение газонов, стрижка кустарников, несколько раз в год возможна замена растений в клумбах. Производится орошение и уборка отмирающих растительных материалов.

Второй локалитет – это территория Кубанского государственного аграрного университета, представленная в основном газонами и парковой растительностью. В отличие от первого локалитета, здесь большинство газонов представлено дикой разнотравно-злаковой растительностью, среди деревьев выше доля хвойных. В то же время, антропогенное влияние на территорию ниже. Третий локалитет представлен ботаническим садом имени

Таблица 1

Локалитеты проведения исследования божьих коровок в г. Краснодар (2016-2020)

| № п/п | Название локалитета | Координаты |
|-------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1. | Центральная часть города Краснодар | N 45°03'10.4" E 38°58'50.3" |
| 2. | КубГАУ имени И. Т. Трубилина | N 45°02'32.6" E 38°55'19.3" |
| 3. | Ботанический сад имени И. С. Косенко | N 45°03'14.4" E 38°55'35.6" |
| 4. | НЦЗ имени П. П. Лукьяненко | N 45°03'32.7" E 38°54'46.7" |
| 5. | Учхоз «Кубань» | N 45°03'51.5" E 38°52'09.1" |
| 6. | ФНЦ БЗР | N 45°02'55.6" E 38°52'19.1" |
| 7. | Станица Елизаветинская | N 45°02'45.0" E 38°46'09.2" |

И. С. Косенко, который расположен рядом с территорией КубГАУ. Он характеризуется преимущественно древесно-кустарниковой растительностью с небольшими естественными полянами. Для данного локалитета характерно очень высокое биоразнообразие растений с минимальной антропогенной нагрузкой.

Четвертый локалитет представлен территорией НЦЗ имени П.П. Лукьяненко, на котором помимо парковой зоны имеются поля с полным набором агротехнического и агрохимического воздействия, а также теплицы. Пятый локалитет представлен территорией учхоза «Кубань», на которой находятся как поля с севооборотом, так и участки с садами и виноградниками. На данной территории имеется очень высокое разнообразие культурных растений и дикорастущих сорняков, но основное разнообразие коровок наблюдалось в «экологическом» саду, где было ограничено использование химических средств защиты растений. Шестой локалитет – это территория ФНЦ БЗР, на которой сбор коровок проводился как на полях различных культур, в «экологическом» саду, а также в протяженных лесополосах и небольших древесно-кустарниковых «островках» на которых не осуществляется никакая хозяйственная деятельность.

Седьмой локалитет представлен самым высоким разнообразием ландшафтов, куда относится частный сектор с декоративной растительностью и огородами, а также зоны с минимальной антропогенной нагрузкой: пойменные леса по берегу реки Кубань, луговины, пустыри. Здесь наблюдается максимальное флористическое разнообразие, включающее дикорастущие, декоративные и сельскохозяйственные элементы.

Для коллектирования жуков применялись стандартные методики энтомологических исследований, главным образом, кошение энтомологическим сачком и ручной сбор с растений и различных объектов (Кустов и др., 2020). Часть экземпляров выведена из собранных в указанных выше локалитетах куколок. Для видовой идентификации собранного материала использовали определительные таблицы из различных источников (Заславский, 1965; Кузнецов, 1992; Хабибуллин, 2011; Определитель..., 2016; Беньковский, 2020). Современное систематическое положение выверено по данным Зоологического института РАН и по работе Беньковского (2020). Для сравнения биотопов по видовому сходству божьих коровок применялся коэффициент Жаккара. Расчёт и построение дендрограммы проведены в программе Biodiversity Pro 2.0. Классификации ареалов дана в соответствие с работой Замотайлова и др. (2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За период исследования на местах учета в г. Краснодар было собрано 862 экземпляра жуков, из них было определённо 25 видов божьих коровок (табл. 2), относящихся к четырём подсемействам: Scymninae (32%), Chilocerinae (4%), Coccinellinae (60%), Epilachninae (4%).

Максимальное количество видов было собранно в станице Елизаветинской – 23 вида, вторым биотопом по высокой численности видов являлся ботанический сад имени И.С. Косенко – 21 вид и третьим учхоз «Кубань» – 19 видов. Небольшое число видов жуков отмечено для центральной части города Краснодар (13 видов), в районе ВНИИБЗР (14 видов) и на территории КубГАУ (13 видов). Наибольшее количество особей божьих коровок было собранно на опытных участках в учхозе «Кубань» и в станице Елизаветинской, где показана высокая численность большинства видов, наименьшее количество жуков было собранно на территории КубГАУ (табл. 2).

Таблица 2

Видовой состав и численность божьих коровок
на опытных площадках г. Краснодар 2016–2020 гг.

| № п/п | Виды коровок | Общее количество материала, экз | Локалитеты | | | | | | |
|-------|---|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------|---------|------------------------|
| | | | Центральная часть города | КубГАУ им. И.Т. Трубилина | Ботанический сад им. И.С. Косенко | НЦЗ им. П.П. Лукьяненко | Учхоз «Кубань» | ФНЦ БЗР | станция Елизаветинская |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1. | <i>Stethorus pusillus</i> (Herbst, 1797) | 25 | 3 | 2 | 2 | – | 8 | 7 | 3 |
| 2. | <i>Nephus redtenbacheri</i> (Mulsant, 1846) | 4 | – | – | – | – | 2 | 1 | 1 |
| 3. | <i>Scymnus auritus</i> Thunberg, 1795 | 4 | 1 | 1 | 1 | – | 1 | – | – |
| 4. | <i>Scymnus subvillosus</i> (Goeze, 1777) | 6 | 2 | – | 1 | – | 2 | 1 | – |
| 5. | <i>Scymnus rubromaculatus</i> (Goeze, 1777) | 10 | 2 | – | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 |
| 6. | <i>Scymnus interruptus</i> (Goeze, 1777) | 3 | – | – | 1 | 1 | – | – | 1 |
| 7. | <i>Scymnus frontalis</i> (Fabricius, 1787) | 24 | 6 | 1 | 2 | 2 | 10 | – | 3 |
| 8. | <i>Platynaspis luteorubra</i> (Goeze, 1777) | 3 | – | – | 2 | – | – | – | 1 |
| 9. | <i>Exochomus quadripustulatus</i> (Linnaeus, 1758) | 3 | – | – | 2 | – | – | – | 1 |
| 10. | <i>Coccinula quatuordecimpustulata</i> (Linnaeus, 1758) | 30 | – | – | 12 | 2 | 5 | 3 | 8 |
| 11. | <i>Tytthaspis sedecimpunctata</i> (Linnaeus, 1761) | 49 | – | – | 16 | 5 | 21 | – | 7 |
| 12. | <i>Anisosticta novemdecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 3 | – | – | – | 1 | – | – | 2 |

Таблица 2 (продолжение)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------|--|-----|----|----|----|----|-----|----|-----|
| 13. | <i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 35 | 3 | 1 | 5 | 3 | 11 | 5 | 7 |
| 14. | <i>Vibidia duodecimguttata</i> (Poda, 1761) | 2 | – | – | 1 | – | – | – | 1 |
| 15. | <i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 36 | 2 | 1 | 2 | 2 | 9 | 6 | 14 |
| 16. | <i>Hippodamia tredecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 3 | – | – | – | 2 | – | – | 1 |
| 17. | <i>Hippodamia variegata</i> (Goeze, 1777) | 118 | 4 | 2 | 8 | 3 | 78 | 6 | 17 |
| 18. | <i>Coccinella septempunctata</i> Linnaeus, 1758 | 72 | 6 | 5 | 9 | 6 | 28 | 4 | 14 |
| 19. | <i>Coccinella magnifica</i> Redtenbacher, 1843 | 12 | – | 1 | 4 | 1 | 2 | – | 4 |
| 20. | <i>Oenopia conglobata</i> (Linnaeus, 1758) | 23 | 5 | 3 | 2 | 4 | 5 | 1 | 3 |
| 21. | <i>Adalia decempunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 7 | 1 | – | – | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 22. | <i>Adalia bipunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 85 | 13 | 1 | 4 | 16 | 18 | 9 | 24 |
| 23. | <i>Harmonia quadripunctata</i> (Pontoppidan, 1763) | 6 | – | 2 | 1 | – | 1 | – | 2 |
| 24. | <i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773) | 289 | 47 | 12 | 11 | 24 | 87 | 32 | 76 |
| 25. | <i>Subcoccinella vigintiquatuorpunctata</i> (Linnaeus, 1758) | 10 | – | 1 | 2 | – | 3 | – | 4 |
| Общее количество видов | | 25 | 13 | 13 | 21 | 16 | 19 | 14 | 23 |
| Общее количество экз. | | 862 | 95 | 33 | 90 | 74 | 296 | 77 | 197 |

Для каждого локалитета была выявленная структура доминантных видов. Так в центральной части г. Краснодар, данную структуру формируют: *H. axyridis* – 49,5 %; *A. bipunctata* – 13,7 %; *C. septempunctata* – 6,3 %; *Scymnus frontalis* – 6,3 %; *O. conglobata* – 5,3 %. Для КубГАУ была следующая структура доминирования божьих коровок: *H. axyridis* – 36,4 %; *C. septempunctata* – 15,2 %; *O. conglobata* – 9,1 %; *H. quadripunctata* – 6,1 %; *S. pusillus* – 6,1 %. Доминантными жуками в ботаническом саду имени И. С. Косенко: *T. sedecimpunctata* – 17,8 %; *C. quatuordecimpunctata* – 13,3 %; *H. quadripunctata* – 12,2 %; *C. septempunctata* – 10 %; *H. variegata* – 8,9 %. В НЦЗ им. П. П. Лукьяненко: *H. axyridis* – 32,4 %; *A. bipunctata* – 21,6 %; *C. septempunctata* – 8,1 %; *T. sedecimpunctata* – 6,8 %. В учхозе «Кубань»: *H. axyridis* – 29,4 %; *H. variegata* – 26,4 %; *C. septempunctata* – 9,5 %; *T. sedecimpunctata* – 7,1 %; *A. bipunctata* – 6,1 %. В ФНЦ БЗР доминантами являются: *H. axyridis* – 41,6 %; *A. bipunctata* – 11,7 %; *P. vigintiduopunctata* – 7,8 %; *H. variegata* – 7,8 %; *P. quatuordecimpunctata* – 6,5 %; *C. septempunctata* – 5,2 %. В станице Елизаветинской: *H. axyridis* – 38,6 %; *A. bipunctata* – 12,3 %; *H. variegata* – 8,6 %; *P. vigintiduopunctata* – 7,1 %; *C. septempunctata* – 7,1 %. Общими доминантными видами для опытных площадок считаются божьи коровки *H. axyridis* (доля в сборе составляет 33,5 %), *H. variegata* (13,7 %); *A. bipunctata* (9,9 %), *C. septempunctata* (8,4 %) и *T. sedecimpunctata* (5,7 %). Основные места локализации

видов-доминантов в городской среде также отличаются: *H. axyridis* и *A. bipunctata* массово встречается на древесной растительности, преимущественно на участках придорожных посадок фруктовых насаждений и на липе. *C. quatuordecimpustulata* и *T. sedecimpunctata* преобладают на травянистой растительности в учхозе «Кубань» и ботаническом саду.

Максимальную численность практически во всех локалитетах демонстрирует инвазивный вид *H. axyridis*, который указан с территории Краснодара в 2007 году (Орлова-Беньковская, 2014), и успешно вошел в пищевые цепи города (Попов, 2014; Цыгикало и др., 2016). Данный вид считается афидофагом, однако проявляет гораздо более широкие пищевые предпочтения. Отмечено активное питание имаго коровок и их личинок на личинках разных возрастов восковой цикадки (*Metcalfa pruinosa* Say), которое в большинстве случаев приводит к быстрому и полному уничтожению колоний этого опасного инвазивного вредителя. Однако при этом личинки *H. axyridis* уничтожают своих прямых конкурентов – личинок коровок *C. septempunctata* и *A. bipunctata* (Попов, 2014; Цыгикало и др., 2016)

На основе трофической специализации, было получено следующее распределение по количеству видов: 14 видов (56 %) являются афидофагами, 7 видов кокцидофаги (28%), 2 вида мицетофаги (8 %), 1 вид (4 %) является фитофагом – *S. vigintiquatuoripunctata* и 1 вид акарифагом – *S. pusillus* (4 %). Подобное многообразие трофических групп коровок свидетельствует о широком распространении и высокой численности их пищевых объектов в городских экосистемах.

Для определения сходства комплексов божьих коровок в исследованных биотопах проведён кластерный анализ на основе коэффициента Жаккара и построена дендрограмма сходства (рис. 2). Условные локальные фауны Coccinellidae г. Краснодар различаются достаточно высоко. Максимальное сходство фаун – 75 % – демонстрируют ст. Елизаветинская и Ботанический сад имени И.С. Косенко. Данные локалитеты находятся на относительно удаленном расстоянии друг от друга, но биотопы имеют практически идентичную структуру, что влияет на исходную кормовую базу для божьих коровок. Подобное сходство, составляющее 72 %, имеют учхоз «Кубань» и ФНЦ БЗР, что также может быть связано с обширной и разнообразной кормовой базой.

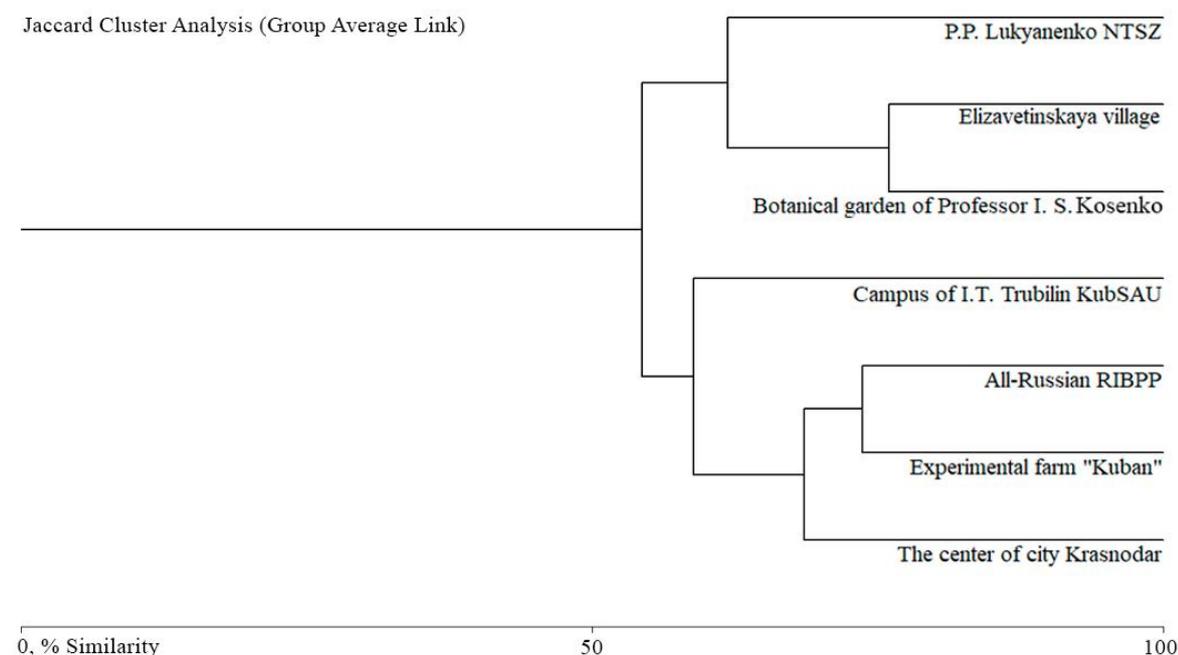


Рис. 2. Дендрограмма сходства фаун божьих коровок в локалитетах г. Краснодар

Все выявленные виды в зависимости от типа ареала можно подразделить на следующие группы: 1) голарктические виды; 2) транспалеарктические виды; 3) центрально-восточно-палеарктические виды; 4) европейско-сибирские виды. Доля видов кокциnellид с широкими ареалами значительна. В целом отмечен бореальный характер фауны, где резко доминируют транспалеарктические (76 %) и голарктические (16 %) виды, составляющие вместе 92 %. Важное место в формировании фауны кокциnellид принадлежит голарктической группе видов, ареалы которых охватывают бореальную Евразию и Северную Америку. В Краснодаре эта группа объединяет 4 вида (16 % в фауне кокциnellид). К ним относятся: *S. pusillus*, *H. tredecimpunctata*, *O. conglobata*, *A. bipunctata*. Транспалеарктическая группа выступает в качестве основного ядра фауны кокциnellид города Краснодар и включает виды, широко распространенные в Европе, Азии и Северной Африке. Данная группа представлена 16 видами, составляющими 76 % фауны. По сравнению с видами широких ареалов, европейско-сибирская группа кокциnellид представлена единственным видом *T. sedecimpunctata* (4 %). Центрально-восточно-палеарктическая группа представлена видом *H. axyridis* (4 %).

Как было указано, доминантом с наиболее высокой численностью является инвазивный вид *H. axyridis*. Этот вид представлен как минимум тремя основными морфами: *succinea*, *spectabilis*, *conspicua*; а также, по-видимому, их многочисленными гибридами. Данный вид встречается во всех экосистемах на территории Краснодарского края, кроме высокогорных. Основу его питания составляют практически все открыто живущие виды тлей и другие равнокрылые насекомые. В условиях Краснодара основным весенне-летним кормовым объектом является цикадка восковая *Metcalfa pruinosa* Say (Flatidae), которая также является инвайдером и широко распространена в городе на большом количестве растений. Имаго и личинки *H. axyridis* способны за непродолжительное время (до 2 недель) полностью подавлять развитие личинок цикадки первого-второго возраста, более подвижные личинки третьего и четвертого возрастов имеют шанс избегать атак, в том числе благодаря сильно развитым восковым нитям. Тем не менее, коровка изменчивая является очень хорошим энтомофагом и подавляет большинство колоний цикадки восковой в г. Краснодаре, в том числе некоторые полностью.

При питании в колониях цикадки и различных видов тлей личинки *H. axyridis* часто вступают в конкурентные отношения с другими хищными видами коровок, преимущественно *A. bipunctata* и *C. septempunctata*. В данном случае последствия зависят от возраста и размера конкурирующих личинок: в подавляющем большинстве случаев личинки коровки изменчивой поедают личинок двуточечной и семиточечной коровок, если находятся в одновозрастных группах (личинки *H. axyridis* растут и развиваются быстрее своих конкурентов), в то же время более крупные личинки *A. bipunctata* и *C. septempunctata* также способны поедать более молодых личинок *H. axyridis*.

Подобным образом личинки *H. axyridis* по-видимому подавляют все местные хищные виды коровок, а также способны атаковать других хищников, которых встречают в колониях кормовых объектов, например, отмечено поедание хищной личинки мухи-журчалки (*Syrphus*) в колонии розанной тли, причем, при наличии большого количества тли, что показывает неразборчивость личинок коровки изменчивой при выборе объекта питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя вышесказанное, можно заключить, что наибольшее количество видов и число жуков было собранно в окрестностях г. Краснодар (ст-ца Елизаветинская и учхоз «Кубань») и в пределах искусственно созданного парка (Ботанический сад им. И.С. Косенко). А тенденция уменьшения количества видов и их численности наблюдается по направлению к центру города, что очевидно связано в первую очередь с особенностью питания коровок, наличия кормовой базы, развитие в экологически неблагоприятных, стрессовых условиях обитания, а также со специфическими местами зимовок. Группу доминантных видов составляют *Harmonia axyridis*, *Hippodamia variegata*; *Adalia bipunctata*, *Coccinella*

septempunctata и *Tytthaspis sedecimpunctata*. Отметим также, что в основу всех биотопов формируют виды божьих коровок с широкими полисекторными и полизональными ареалами.

Для более полного понимания распределения божьих коровок в пределах урбанизированных условиях г. Краснодар, требуется дополнительное изучение экологии Coccinellidae.

Список литературы

Алексанов В. В. Предварительный эколого-фаунистический анализ божьих коровок (Coleoptera, Coccinellidae) города Калуги // Известия Калужского общества изучения природы. Кн. 8: Сб. науч. трудов. – Калуга, 2008. – С. 112–122.

Беньковский А. О. Определитель божьих коровок (Coleoptera, Coccinellidae) европейской части России и Северного Кавказа. – Ливны: Издатель Мухаметов Г. В., 2020. – 140 с.

Буцько Е. В. Видовой состав и распределение кокциnellид (Coleoptera, Coccinellidae) антропогенных ландшафтов г. Читы // 9-я междунар. Пушинская школа-конф. молодых ученых «Биология – наука XXI века. – Пушино, 2005. – С. 38.

Замотайлов А. С., Орлов В. Н., Набоженко М. В., Охрименко Н. В., Хачиков Э. А., Шаповалов М. И., Шохин И. В. Анализ основных путей формирования энтомофаунистических комплексов Северо-Западного Кавказа на материале по жесткокрылым насекомым (Coleoptera) // Энтомологическое обозрение, 89 (1). 2010. – С. 178–218.

Заславский В. А. Сем. Coccinellidae – Божьи коровки // Определитель насекомых Европейской части СССР. – Т. 2. – Москва-Ленинград: «Наука», 1965. – С. 319–326.

Кузнецов В. Н. Сем. Coccinellidae – Божьи коровки // Определитель насекомых Дальнего Востока СССР. Т. 3. Жесткокрылые или жуки, 1992. – Ч. 2. – СПб: Наука, 1992. – С. 333–376.

Кустов С. Ю., Гладун В. В., Попов И. Б., Белый А. И. Сбор, учёт и коллекционирование насекомых // – Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Кубанский государственный университет. Краснодар, 2020. – 82 с.

Мохрин А. А. Жуки кокциnellиды (Coleoptera, Coccinellidae) в биотопах г. Ставрополя // Труды Ставропольского отделения РЭО: Сб. науч. тр. – Ставрополь, 2007. – С. 7–9.

Определитель насекомых юга России: учеб. пособие / [Ред. К. С. Артохин]. – Ростов н/Д: Foundation, 2016. – 1036 с.

Орлова-Беньковская М. Я. Массовое размножение божьей коровки *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera, Coccinellidae) на Кавказе и возможные источники инвазии // Российский журнал биологических инвазий. – 2014. – № 3. – С. 73–82. [Russian Journal of Biological Invasions. – 2014. – Vol. 5, N 4. – P. 275–281.]

Попов И. Б. Встраивание адвентивных видов насекомых в трофические цепи в экосистеме Краснодара // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. – Матер. Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационные технологии применения биологических средств защиты растений в производстве органического сельскохозяйственной продукции» Краснодар, 16-18 сентября 2014. – Краснодар, 2014. – Вып. 8. – С. 478–480.

Попов И. Б., Антоненко К. А. Некоторые особенности зимовки ряда насекомых в условиях центральной зоны Краснодарского края // В книге: Инновационные технологии отечественной селекции и семеноводства. Сборник тезисов по материалам II научно-практической конференции молодых ученых Всероссийского форума по селекции и семеноводству. Ответственный за выпуск А. Г. Кощаев. 2018. – С. 98–100.

Савойская Г. И. Использование хищных жуков-кокциnellид в биологическом методе борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур – Москва 1981. – 43 с.

Украинский А. С. Фауна божьих коровок (Coleoptera: Coccinellidae) Московской области // Ломоносов-2007": Междунар. Конф. студентов, аспирантов и молодых ученых; секция «Биология»: Тез. докл. – М., 2007. – С. 90.

Цыгикало И. С., Еременко И. А., Киль В. И. Инвазия *Harmonia axyridis*: плюсы и минусы // В сборнике: Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем. ФНБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений», Федеральное агентство научных организаций России, Российская академия наук, Российский фонд фундаментальных исследований, Министерство образования, науки и молодежной политики администрации Краснодарского края. – 2016. – С. 563–567.

Хабибуллин А. Ф. Жуки-кокциnellиды (Coleoptera: Coccinellidae) южной части г. Уфы // Фауна и экология насекомых. – Ростов н/Д, 2007. – Вып. 1. – С. 23–27.

Хабибуллин В. Ф., Муравицкий О. С. Атлас-определитель кокциnellид (божьих коровок) (Coleoptera: Coccinellidae) и жуков-листоедов (Coleoptera: Chrysomelidae) Башкортостана: уч. пособие – Уфа: РИЦ БашГУ, 2011. – С. 5.

Vandenberg, N. J. Coccinellidae Latreille 1807. In: Arnett R. H., Thomas M. C., Skelley P. E., Frank J. H. [Eds.]. American Beetles. 2. Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C. CRC Press, 2002. – P. 371–389

Tsygikalo I. S. , Popov I. B. , Khomitsky E. E. Ladybugs (Coleoptera: Coccinellidae) in Krasnodar and their role in biological suppression of phytophages // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 88–96.

Twenty-five species of ladybugs (Coccinellidae) were registered during the research of entomofauna in urban ecosystems of Krasnodar. The distribution of species and their abundance within the city is extremely uneven and depends on the floristic diversity of localities and the development of the forage resources. In general, the fauna has boreal features with domination of Trans-Palaeartic (76 %) and Holarctic (16 %) species of ladybugs. Five groups are distinguished according to trophic specializations: aphidophages – 14 species, coccidophages – 7 species, mycetophages – 2 species, phytophages and acariphages – 1 species each. The most widespread species is the invasive species *Harmonia axyridis*. Besides, *Hippodamia variegata*; *Adalia bipunctata*, *Coccinella septempunctata* and *Tytthaspis sedecimpunctata* belong to the group of dominants. Eight species of ladybugs are rare, their share in collections is less than 3 %: *Nephus redtenbacheri*, *Scymnus auritus*, *S. interruptus*, *Platynaspis luteorubra*, *Exochomus quadripustulatus*, *Anisosticta novemdecimpunctata*, *Vibidia duodecimguttata*.

Key words: ladybugs, fauna, trophical specialization, urban ecosystems.

Поступила в редакцию 20.09.21

Принята к печати 19.11.21

УДК 591.4:597.556.33(262.5)

Размерно-весовые характеристики и величина соматических индексов молоди луфаря *Pomatus saltatrix*, отловленной у берегов Карадага (Юго-Восточный Крым) в период вспышки численности в 2018 году

Силкин Ю. А., Василец В. Е., Силкина Е. Н., Силкин М. Ю.

Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Феодосия, Республика Крым, Россия
pater3@yandex.ua

Исследовали размерно-весовые показатели и величины соматических индексов у молоди луфаря (*Pomatus saltatrix* Linnaeus, 1758), отловленной у берегов Карадага (Юго-Восточный Крым) в осенний период 2018 года. В исследованной выборке в почти пропорциональных пропорциях были рыбы возраста 0+, 1+, 2+. Показано, что в настоящее время масса молоди луфаря (1+, 2+) была в 3,5–8 раз меньше, чем у рыб такого же возраста, выловленных 47 лет тому назад. Масса печени у исследованных более крупных особей (до 22 см; 2+) была на 43 % больше, чем у особей длиной до 15 см (0+). Индекс жабр был несколько больше (на 23 %) у мелкой молоди (0+), по сравнению с более крупными особями (2+). Индекс упитанности имел тенденцию к увеличению (на 16 %) у особей возраста 2+. Периодичность подходов молоди луфаря к берегам Карадага не известна. Однако, если луфарь появлялся в массовом количестве, то продолжительность таких прибрежных «вспышек» численности составляла 2–3 года как в настоящее время, так и определенная более 60 лет тому назад. Появление в массовом количестве у побережья Карадага молоди луфаря, как мы полагаем, является следствием небольшого улучшения кормового базиса в море и своего рода триггером для запуска процесса взрывного увеличения количества луфаря. Однако уровень кормовой базы был, видимо, не достаточен для поддержания высокой плотности популяции хищника на продолжительную перспективу. Возможно, феномен «вспышки» численности этого вида выступает как стратегия выживания малочисленных популяций рыб в процессе преодоления генетической инертности и является, по сути, волнами жизни, открытыми С. Четвериковым в начале прошлого века.

Ключевые слова: молодь луфаря, *Pomatus saltatrix*, Юго-Восточный Крым, соматические индексы, размерно-весовые показатели, индекс упитанности, волны жизни.

ВВЕДЕНИЕ

Многие черноморские рыбы являются не только объектами промысла, но и неотъемлемой частью трофических цепей. Количественная оценка состояния их популяций имеет большое значение для обеспечения планирования использования природных биоресурсов. Прибрежная зона Юго-Восточного Крыма – это регион, где природоохранные объекты сочетаются с зонами развитой рекреации. Одним из наиболее значимых природоохранных объектов указанного побережья является Карадагский природный заповедник, который на протяжении более 40 лет является местом нереста и нагула многих редких видов и рыб с резкими колебаниями их численности.

Одним из представителей малоисследованных промысловых видов в Черном море является луфарь (*Pomatus saltatrix* Linnaeus, 1758), который в уловах бывает нечасто. Однако является значимым, не только объектом лова с высокими вкусовыми качествами, но и видом, особенности образа жизни, которого вносят существенные изменения в популяции других промысловых видов. Луфарь – активный хищник, благодаря молниеносной реакции на жертву, заслужено получил название морской корсар (Анисимова, Лавровский, 1983). На своем пути он яростно расправляется и с мелкими и крупными особями. Луфарь смело врывается в стаи и острыми, как бритва, зубами половинит свои жертвы до тех пор, пока стая не рассыплется на уцелевших одиночек. Только после этого он начинает трапезу фрагментов рыб, попавших в эту луфарную «мясорубку». Истребление большего количества рыб, чем

требуется для насыщения одной особи луфаря, приводит к уменьшению запасов промысловых видов, которые являются объектами питания этого вида. Например, исчезновение скумбрии в Черном море с 70-х годов прошлого столетия связывают именно с массовым нашествием луфарей из Средиземного моря (Тараненко, 1973). Обычно луфарь в районе Карадага встречается небольшими группами и не проявляет постоянной массовости подобно ставриде, сельди, хамсе и другим стайным рыбам. Для популяции луфаря в Черном море характерно резкое, спонтанное колебание численности, сопровождаемое появлением его в массовом количестве и таким же быстрым падением численности с последующим долгим периодом сохранения статуса малочисленного вида. Это достаточно редкое явление причины, которого до настоящего времени не исследованы. Биология луфаря изучена мало, немногочисленные исследования касаются вопросов численности, размеров особей и особенностей лова вида (Смирнов, 1959; Тараненко, 1973; Анисимова, Лавровский, 1983; Салехова и др., 2007; Кожурин и др., 2018).

Цель настоящего исследования – изучить состояние молоди луфаря (*Pomatus saltatrix* L.), отловленной у берегов Карадага (Юго-Восточный Крым) в осенний период 2018 года, на основе анализа размерно-весовых и соматических индексов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Луфарь (*Pomatus saltatrix* L.) (рис. 1) довольно крупная рыба, может достигать более 50 см в длину и весом более – 2 кг, средние размеры чаще всего не превышают 30–40 см и веса 500–800 г (Тараненко, 1973). Луфарь совершает ежегодные длительные миграции весной из Мраморного в Черное море вдоль берегов Болгарии, затем, севернее – до западных берегов Крымского полуострова (район мыса Тарханкута), южнее – до Южнобережья Крыма на нерест и нагул, а осенью – обратно. Личинки и мальки луфаря чаще распределяются в открытых частях моря и в прибрежных районах, особенно у берегов Грузии. Иногда у этих берегов часть мальков остается на зимовку. Основные нерестилища размещаются в районах с соленостью не более 18 ‰ (Тараненко, 1973). Луфарь – хищник, питается во взрослом состоянии крупной рыбой (ставрида, кефаль, барабуля и др.), которую хватает «на ходу», стремглав врываясь в стаю жертвы. Тело этого хищника сильное, торпедообразной формы, с довольно большим ртом и однорядными зубами. Луфарь – мигрант, способен преодолевать большие расстояния. Это быстрорастущая рыба, половозрелость наступает после 2-х лет.

Молодь луфаря отлавливали удочкой в 100 метрах от берега Карадагской бухты (рис. 1).

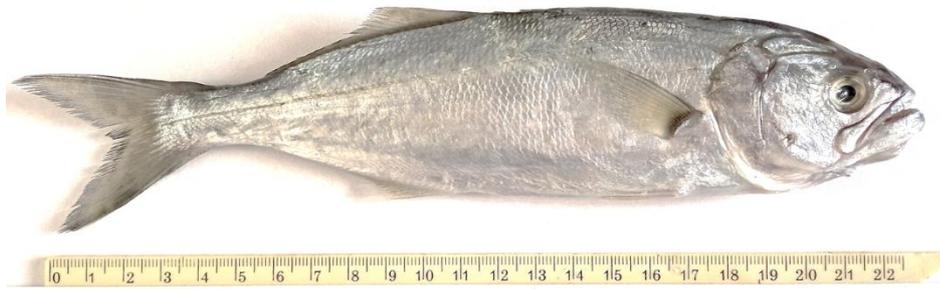


Рис. 1. Луфарь *Pomatus saltatrix* возраста 2+, отловленный в прибрежной акватории Карадагской бухты (фото Г. Е. Ярыш)

Отлов осуществляли в сентябре месяце 2018 года, при температуре воды в море, равной +22 °С. Подошедшая в это время стая луфарей была многочисленной, за час на удочку можно было отловить до 3 кг рыбы. Со слов местных рыбаков обильный лов рыб можно было осуществить и в соседних бухтах (Коктебель, Лисья бухта) на протяжении 3 недель. Луфарь

ловился на удочку легко, без наживки, при снятии с крючка рыба интенсивно сопротивлялась, отрывая проглоченную пищу: куски крупных рыб и даже мальков (дракончиков, скорпен, бычков, барабулек).

Определение размерно-весовых показателей тела и веса органов проводили по общепринятым методикам. Индекс органов определяли, как процентное отношение массы органа к массе порки, индекс упитанности – по Кларку (Смирнов, 1972).

Для определения возраста использовали отолиты – *sagitta*, которые у луфаря, как и у других костистых рыб, являются самыми крупными. Отолиты препарировали из внутреннего уха луфаря. Возраст выловленных рыб определяли по кольцам выделенных отолитов, которые легко различались бинокулярной лупой без какой-либо обработки слуховых камешков. Отолиты луфаря достаточно легко препарируются и хорошо переносят хранение на предметных стеклах.

Статистическую обработку полученных в ходе экспериментов, данных проводили по общепринятым методикам (Лакин, 1990). Все результаты представлены в виде среднего и ошибки среднего ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$). Различия между выборками рыб, взятых для сравнения, считались достоверными при $p < 0,05$.

Было исследовано 75 особей рыб. Сравнение размерно-весовых характеристик молоди луфаря, отловленной нами и отловленных 47 лет назад Тараненко (1973) проведено только для молоди луфаря возрастов 1+ и 2+, поскольку размерно-весовые характеристики возрастной группы 0+ у Н. Ф. Тараненко представлены не были. Данные Н. Ф. Тараненко (1973), взятые для сравнения, были получены ею на рыбах, отловленных в Керченском проливе, в близком к Карадагу районе, в результате промыслового траления в 1971 году.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследуемой выборке рыб в соответствии с их возрастными характеристиками в почти равных пропорциях встречались особи возраста: 0+, 1+, 2+. Внешний вид препарированных отолитов луфаря представлен на рисунке 2.

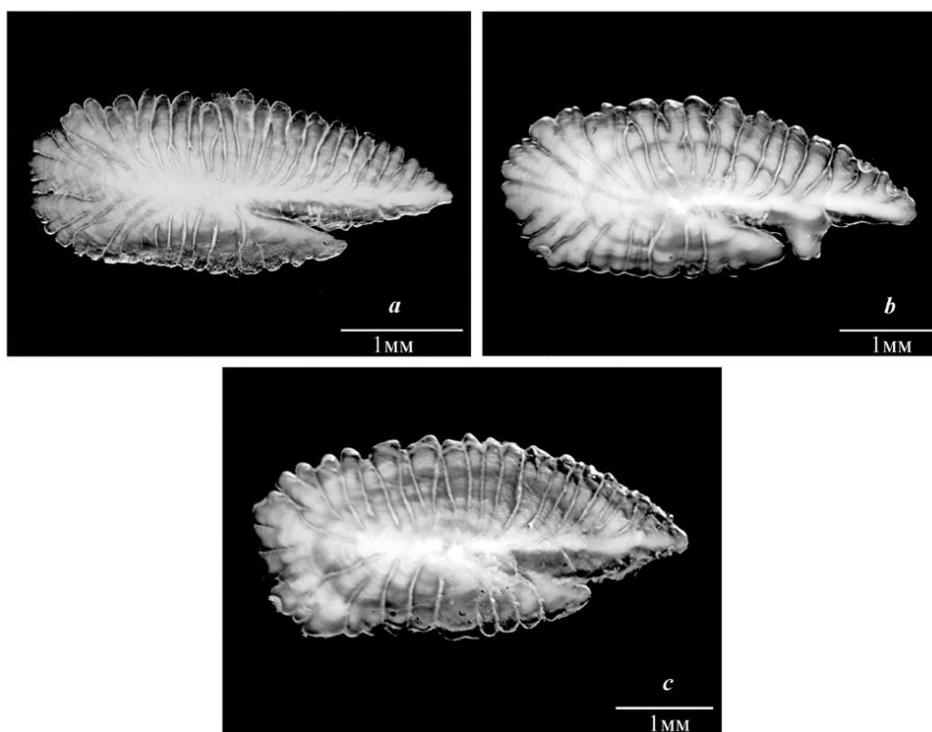


Рис. 2. Отолиты молоди луфаря возраста 0+ (а), 1+ (в), 2+ (с) (фото Д. Н. Куцына)

Препарированные отолиды имели характерную для хищных рыб форму (рис. 2а, 2б, 2с) с непрозрачной консистенцией углекислого кальция (CaCO_3) в центре и прозрачным краем. Отолиды выловленных луфарей были длиной 3,5–4,5 мм и в ширину 1,5–2,0 мм. Годовые кольца хорошо видны без всякой предварительной обработки (рис. 2б, 2с). По форме отолиды луфаря сильно вытянуты в продольном сечении. Внутренняя поверхность плоская, внешняя – слабовыпуклая, дорсальный край округлый, гребенчатый, слегка дольчатый, вентральный – слабо округлый с гребенчатым краем. Рострум у отолида довольно крупный, с небольшой округлостью в вентральной стороне, слегка заострен. Антирострум слабо выражен. Задний конец округлый и не разделен на построструм и парарострум (рис. 2а, 2б, 2с).

Размерно-весовые характеристики разных по возрасту рыб луфаря представлены в таблице 1.

Таблица 1

Размерно-весовые показатели молоди луфаря в сентябре месяце у берегов Карадага в 2018 году

| Возраст рыб по годам | Длина рыб (<i>min-max</i>), см | Среднее значение длины рыб, см | Масса рыб (<i>min-max</i>), г | Средняя масса рыб, г | Число рыб в опыте |
|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|-------------------|
| 0+ | 13–14 | 13,3±0,1 | 15–19 | 16,8±0,5 | 26 |
| 1+ | 15–18 | 16,3±0,3 | 21–40 | 35,1±1,6 | 28 |
| 2+ | 19–22 | 20,9±0,6 | 47–79 | 66,3±3,0 | 21 |
| 1+* | 16–23* | 19,5±0,4*,** | 71–169* | 120,4±15,6*,** | 151* |
| 2+* | 27–39* | 31,3±3,8*,** | 58–674* | 566,0±46,7*,** | 434* |

Примечание к таблице. * – данные размерно-весовых характеристик молоди луфаря за 1971 год (Тараненко 1973); ** – достоверное различие размерно-весовых характеристик выборок рыб 2+, выловленных в Карадагской бухте (2018 г.) и Керченском проливе (1971 г.) с уровнем значимости $p < 0,05$.

Из таблицы 1 видно, что линейные размеры выловленных особей луфаря варьировали от 13 см до 22 см, а масса исследованных рыб колебалась от 15 до 79 г. Особи 2+ с большей массой тела (47–79 г) и длиной (до 22 см) составляли 28 % от всего количества выловленных рыб. Выловленные рыб с самой малой массой тела 0+ (15–19 г) составляли 35 % от их выловленного общего количества. Количество пойманных рыб возрастом 1+ в выборке было (37 %). Эту группу составляли особи, имеющие вес от 21 до 40 грамм и длину от 15 до 18 см (табл. 1).

Анализируя соотношения изменений длины тела и его массы, можно отметить, что у более крупных рыб прирост массы тела больше, чем у мелких рыб. Так, у рыб длиной с 15 до 18 см соотношение массы и длины тела колебалось в пределах 1,4–2,2 г/см, а у рыб с длиной тела от 19 до 22 см это соотношение было выше и составляло 2,5–3,6 г/см (табл.1). В исследованиях, выполненных 47 лет тому назад (докризисный период состояния ихтиокомплекса Черного моря) вес луфаря (1+) при длине 16–23 см колебался в пределах 71–169 г. У луфаря возрастной группы (2+) при длине 27–39 см вес рыб колебался от 458 до 674 г (табл. 1) (Тараненко, 1973). Как видно из таблицы 1 линейные размеры у луфаря, выловленного в западной части прибрежной акватории Крыма в 1971 году, варьировали в большей степени, а соотношение массы и длины тела составляли 4,4–7,3 г/см у рыб (1+) и 16,9–17,2 г/см у молоди (2+), что было в 3–7 раз больше, чем в наших исследованиях. Если сравнить весовые характеристики рыб, выловленных в эти годы, то они имели 3,5–8 кратное различие в весе.

Исследованные величины соматических индексов (сердце, жабры, печень, упитанность) указанных размерных групп рыб представлены в таблице 2.

Таблица 2

Величины соматических индексов (сердце, жабры, печень, упитанность) луфаря, отловленного в сентябре месяце у берегов Карадага

| Возраст рыб по годам | Длина тела рыб (min–max), см | Индексы органов, % | | | | Число рыб в опыте |
|----------------------|------------------------------|--------------------|-----------|----------|-------------|-------------------|
| | | Сердце | Печень | Жабры | Упитанность | |
| 0+ | 13–14 | 0,13±0,007 | 0,74±0,04 | 1,95±0,1 | 0,71±0,02 | 26 |
| 1+ | 15–18 | 0,14±0,01 | 0,9±0,09 | 1,7±0,09 | 0,79±0,01 | 28 |
| 2+ | 19–22 | 0,13±0,007 | 1,3±0,07* | 1,5±0,1* | 0,85±0,03 | 21 |

Примечание к таблице. * – значимое различие между минимальными и максимальными размерными категориями рыб ($p < 0,05$).

Из таблицы 2 следует, что величина сердечного индекса была высокой как у мелких (0+), так и у более крупных особей (1+, 2+). В представленных размерно-возрастных группах рыб этот показатель изменялся недостоверно. Величина гепатосоматического индекса колебалась от 0,7 до 1,3 %, причем у особей возраста 0+ и 1+ он был на 31–43 % меньше, чем у более крупных рыб (2+). Индекс жабр исследованных луфарей изменялся менее значительно, чем индекс печени и был более высоким (на 13–23 %) у рыб меньших размеров (0+), в сравнении с крупными особями (1+, 2+). Индекс упитанности в исследованных группах рыб изменялся незначительно и был на 7–16 % меньше у мелких особей (0+, 1+) в сравнении с рыбами размером в 19–22 см (2+).

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно литературным данным (Овен, 1957; Смирнов, 1959; Трифонов, 1960; Тараненко, 1973) линейные размеры исследованного нами луфаря соответствовали молодым особям, часть из которых, была по возрасту 0+, а большая часть – 1+ и 2+. Луфарь 1+ – это практически двухлетняя рыба, а 2+ – трехлетние по возрасту рыбы.

Луфарь, как подчеркивают вышеуказанные исследователи, это быстрорастущая рыба. В наших исследованиях также показано увеличение массы с увеличением размера тела, особенно четко это проявляется у более крупной молоди. Однако, соотношение увеличений массы тела и длины у исследованных луфарей значительно меньше, чем у особей, исследованных 47 лет тому назад (Тараненко, 1973). Молодь луфаря (1+, 2+), выловленная нами в акватории заповедника была только в виде мелких рыб и в сравнении с 60 летними данными, длина ее была в 5–7 раз меньше, а вес – в 3,5–8 раз ниже, чем у особей, исследованных в 60–70 годах (Смирнов, 1959, Тараненко, 1973). «Мельчание» рыб в настоящее время характерно и для других видов ихтиоценоза Карадагского побережья. Так, зубарик, сингиль, зеленушка – перепелка и звездочет уменьшили размерно-весовые характеристики на 30–40 %. У ставриды, барабули и зеленушки – рулены вес уменьшился на 14–20 % в сравнении с 60 годами прошлого века (Силкин и др., 2019). Полученные данные об изменении размерных характеристик рыб в первую очередь связаны с наличием и доступностью корма. «Мельчание» рыб свидетельствует об уменьшении кормовой базы для этих видов. Многочисленными исследованиями в настоящее время показано уменьшение в акватории заповедника видового состава зоопланктона (на 15 %), видового состава ракообразных (на 30 %), которые являются основными объектами питания для большинства видов рыб (Костенко, 2018). Приведенные данные по размерно-весовым характеристикам черноморских рыб в современных экологических условиях свидетельствуют об общей напряженности состояния ихтиоценоза в районе Карадага и феномен массового подхода молоди луфаря к берегу, вряд ли может быть связан с кардинальным улучшением кормового базиса Черного моря, отмеченного в последнее время (Кожурин и др., 2018). Скорее всего, небольшое улучшение питания малочисленных хищников является триггером для запуска

взрывного увеличения численности молоди луфаря, что, видимо, и обеспечивает его периодическое появление в прибрежной зоне заповедника.

Физиологическое состояние организма рыб в опосредованной форме можно оценить по исследованию величин относительной массы органов. В ихтиологии этот метод часто применяется, как способ первичного анализа интегрального состояния организма не только в текущий момент, но и давать будущий прогноз благополучия состояния вида (Смирнов, 1972; Моисеенко, 2000; Руднева, 2016).

Величина сердечного индекса определяется интенсивностью обмена веществ, связанного со скоростью плавания рыб. Показано, что у активно плавающих видов масса сердца больше, чем у малоподвижных рыб (Силкин и др., 2020). На относительную массу сердца молоди рыб также может оказывать влияние не только скорость плавания, но и скорость роста организма. Молодь рыб растет интенсивно, потребляя много корма на единицу своей массы, поэтому энергетические траты ее велики (Дзюбук, Клюкина, 2014). Величина массы сердца у исследованной молоди рыб была высокой и сравнима с таковой у половозрелых быстро плавающих рыб (Адуева и др., 2012; Силкин и др., 2020). Видимо, этот факт связан с особенностями образа жизни луфаря. Луфарь – активный пловец, преодолевающий большие пространства при миграции. Выполнение такой работы, выполняемой мощной скелетной мускулатурой, требует значительной активности сердечной мышцы. Высокой двигательной активности требует и способ питания луфаря. По способу питания луфарь – активный хищник, начиная с размера в 8–11 см, пищей ему служат в основном, промысловые пелагические быстро плавающие виды рыб (Трифонов, 1960).

С двигательной функцией рыб тесно связана дыхательная активность организма, осуществляемая жабрами. Жабры являются чувствительным органом и могут служить индикатором состояния всего организма рыб при его морфофункциональной оценке. В наших исследованиях отмечено, что величина индекса жабр у мелкой молоди луфаря была на 23 % больше, чем у более крупных особей. Жабры – это орган, насыщающий организм кислородом и опосредованно может характеризовать интенсивность метаболизма. Литературных данных об изменении массы жабр у молоди рыб мало, чаще всего они касаются влияния загрязнений окружающей среды на их массу (Терпугова и др., 2019). На молоди леща и судака первой генерации было показано, что индекс жабр у молодых особей больше, чем у взрослых особей (Шайдуллина, 2009; Хрусталева и др., 2016). У активно плавающих половозрелых видов (ставрида, кефаль) не было отмечено зависимости массы жабр от возраста (Аль-Буррай, 2013; Кузьминова, Зозуль, 2019). Видимо, высокая интенсивность метаболизма мальков, необходимая для осуществления процессов роста и активного образа жизни, связана с необходимостью повышенной доставки кислорода, что приводит к увеличению массы жабр у молоди луфаря.

Отмеченное увеличение гепатосоматического индекса у исследованной молоди луфаря с увеличением их роста, возможно, связано с особенностями их питания. Как было сказано выше, особи луфаря длиной более 15–22 см питаются не личинками рыб и креветками, а более крупной рыбой. Печень, как известно, орган, не только высоко метаболический, но и депонирующий питательные вещества, необходимые для роста, осуществления миграций и будущего воспроизводства. Шульман (1972) показал прямолинейную зависимость величины жирности печени от размера рыб – более крупные половозрелые особи при употреблении полноценной пищи делают резервы в организме. Однако, Шайдуллина (2009) отмечает, что увеличение индекса печени у младших групп леща является результатом интенсивного увеличения массы самого органа в период высокой скорости роста организма (Шайдуллина, 2009).

Вероятнее всего, увеличение массы печени у дву- и трехлетней молоди луфаря является не только результатом интенсивного роста организма, но и увеличением процессов депонирования в ней, происходящего из-за употребления в пищу более калорийных видов рыб, таких как хамса, барабуля, ставрида.

Индекс упитанности, отражающий степень запаса питательных веществ в организме, необходимых для осуществления физиологических процессов и переживания

неблагоприятных периодов жизни. У исследованной нами молоди луфаря величина индекса упитанности приближалась к единице, но была меньше таковой, что свидетельствовало о недостаточном уровне запаса энергетических веществ в теле. Вместе с тем нами отмечено, что у особей, длиной до 22 см отмечается небольшое увеличение (на 16 %) индекса упитанности по сравнению с более мелкой молодью. Видимо, высокая интенсивность метаболизма в период роста при недостаточной кормовой базе в районе Карадага не позволяла в полной мере осуществить запасание питательных веществ в теле молоди луфаря. В целом, можно констатировать, что выловленные рыбы были обделены присутствием обильного питания. Это отражало аномальное физиологическое развитие молоди и стимулировало поиск причин вспышек численности луфаря в условиях недостаточной кормовой базы.

Сведения о подходах луфаря к берегам Карадага были отмечены Виноградовым (1931) еще в 30-м году прошлого столетия. Позже, более подробный анализ подходов молоди луфаря с 1947 по 1954 годы в районе Карадага был представлен Овен (1957). В северо-западной части Крымского полуострова периодичность уловов молоди луфаря была отмечена с 1967 по 1971 годы в работах Тараненко (1973).

Систематические исследования о подходах молоди луфаря в районе Карадага в последующие годы, к сожалению, не проводились. В литературе были лишь единичные упоминания о присутствии молоди в этих местах (Мальцев и др., 2017).

При сравнении массы тела исследованной нами молоди видно, что их вес отличается от ранее исследованных особей. Так, в работе, выполненной, более 60 лет тому назад (Смирнов 1959), было показано, что особи луфаря длиной в 23 см имели вес в 3 раза больше, чем ныне исследованные особи луфаря сходного размера. Еще большие, 3,5–8 кратные различия по массе, были отмечены в отчетах по вылову луфаря (1+, 2+) в западных районах Черного моря (табл. 1) (Тараненко, 1973). Уменьшение массы тела, а также невысокий индекс упитанности у исследованной молоди луфаря возможно связаны с особенностями нынешнего состояния кормовой базы восточного крымского побережья и всего Черного моря.

Особенностями кормовой базы Черного моря являются ее значительные флуктуации. За последние 45–60 лет количественный и качественный состав промысловых видов в нем значительно уменьшился. Так, совсем исчезла из промысла скумбрия, уменьшились уловы черноморской хамсы, шпрота и пеленгаса. После 1970 года не отмечалась урожайность лова луфаря, редкие уловы 1977–1980 годов не превышали 40 тонн в год (Фашук, Куманцов, 2018). С 1981 в морских водах России встречались лишь единичные экземпляры молоди луфаря.

Статистические данные о годовых уловах промысловых видов рыб у побережья Крыма в период 2000–2017 годы свидетельствуют о положительном тренде уловов таких видов как ставрида, азовская хамса, кефаль, барабуля (Кожурин и др., 2018). Так, исходя из этих данных по вылову хамсы, показано, что с 2000 года в восточной части Черного моря было добыто 3239 т. Это очень небольшой объем вылова, если учитывать тот факт, что в удачные 80-е годы путина на хамсу в Черном море давала уловы около 200 тыс. т (Болтачев, Карпова, 2012). Однако с этого момента наблюдался устойчивый рост валового улова хамсы и к 2017 году его объем составил уже на порядок большую величину – 29978 т. Выловы по ставриде имели аналогичную тенденцию. Так, в 2000 году было добыто всего 0,6 т, а в 2017 году – 1971 т. Увеличились и уловы по кефали: 18,8 т – в 2000 году и 275 т – в 2017 году и по барабуле – 7,2 т и – 571 т, соответственно. Все это способствовало накоплению потенциала кормовой базы ихтиокомплекса, что, возможно и спровоцировало резкую «вспышку» численности молоди луфаря. Свидетельством справедливости этих рассуждений явилось заметное увеличение уловов луфаря: в 2015 году было выловлено 35 т, в 2016 – 48,8 т, в 2017 – 12,2 т луфаря (Кожурин и др., 2018). Таким образом, увеличение численности видов рыб с 2000 года, являющихся кормовой базой для луфаря, привело к резкому увеличению хищника в прибрежной акватории Черного моря в 2015–2017 годах. Следует отметить, что динамика уловов луфаря за указанный трехлетний период имела колоколообразную форму, что также свидетельствовало в пользу того, что рост численности хищника носил кратковременный характер и ограничивался трехлетним периодом.

Современных данных о годовых уловах молоди луфаря в районе Карадага, к сожалению, мы не имеем, можно лишь ограничиться сведениями ИП «Дроздов», осуществляющего отлов рыб в соседней бухте и местных рыбаков Карадагской бухты. Рыбаки отмечали, что в течение последних 30–40 лет молодь луфаря в районе Карадага в уловы не попадалась. Согласно сведениям промыслового журнала Карадагского отделения ИнБЮМ, осуществляющего отлов рыб для научных исследований, с 1985 по 1995 годы взрослые особи и молодь луфаря в уловах не появлялась. Были лишь отмечены эпизодические уловы луфаря (по 2 кг) в сентябре 1991 и в 1994 годах.

В настоящее время активный лов молоди луфаря в районе Карадага был отмечен в 2016 году. В 2017 и 2018 годах подход молоди был по численности несколько меньше, но лов был активен. Массовый подход молоди луфаря размером в 18–20 см к берегам соседней бухты (Коктебель) также отмечали рыбаки местной артели в 2018 году. В 2019–2020 годах в районе Карадагского заповедника молодь луфаря в уловах была представлена единичными (3–5 шт.) экземплярами.

Периодика уловов была определена для многих видов рыб, так для трески она составила 5–6 лет (Hjort, 1914). Для луфаря периодичность уловов конкретно не определена в связи с длительными перерывами его появления в уловах, хотя некоторые исследователи чаще всего определяют его периодичность в 2–3 года. Ижевский (1961) считал, что у большинства видов рыб существует прямая корреляция между численностью рыб и обеспеченностью пищей. Казалось бы, небольшое увеличение кормовой базы луфаря должно пропорционально вести к увеличению хищника. Такая модель логична и может существовать достаточно долго. В действительности же, в настоящее время, мы наблюдаем дисбаланс динамики численности популяции луфаря на Юго-Восточном побережье Крымского полуострова. Длительные периоды встречаемости не крупных и редких, по численности особей, сменяются резким увеличением численности молоди луфаря. Видимо это происходит тогда, когда возможности кормовой базы возрастают, и они достаточны для резкого увеличения популяционной плотности этого вида рыб. Однако достигнутый уровень кормовой базы существенным образом отличается от той, которая была 47 лет назад. Размерно-весовые различия молоди сравниваемых периодов убедительно свидетельствуют об отсутствии перспектив устойчивости в поддержании большого количественного состава популяции луфаря. Видимо поэтому, увеличение популяции в дальнейшем, сменяется резким падением численности рыб, и популяция возвращается к модели малочисленных групп.

Как мы полагаем, резкие скачки численности популяции луфаря могут быть обусловлены *волнами жизни* (Четвериков, 1983), которые в данном, конкретном случае являются аperiodическими и связаны, как указано выше, с экологическими факторами. Популяционные волны, наряду с мутагенезом, репродуктивной изоляцией и естественным отбором являются фактором эволюционного процесса. Они выступают как фактор преодоления генетической инертности природных популяций. Популяционные волны своим действием на генофонды популяций имеют ненаправленный характер и вследствие этого, фактор несет и отрицательные риски (Ярыгина, 2011). Исследования последних лет на рыбах (Minto et al., 2008) показывают, что важную роль в регуляции численности имеет плотность особей, приходящаяся на единицу пространства. Ихтиологические исследования свидетельствуют, что снижение плотности взрослых особей приводит к резкому возрастанию вариабельности выживания молоди. Объяснить это явление стало возможным, если допустить, что успех выживания повышается при снижении популяции взрослых особей. Вариабельность выживания молоди рыб не есть некий статистический «шум», мешающий выявлению механизмов регуляции численности, а это важный источник информации. Анализ результатов этих исследований показал, что если в природе существует обратная зависимость выживания молоди от плотности популяций производителей, то этого уже достаточно, чтобы вызвать сильную изменчивость выживаемости в малочисленных популяциях. Причем, ротация генофонда популяции происходит как в момент ее роста, когда из-за высокой плотности, часть особей вытесняется в новые ареалы и ниши с новыми факторами воздействия, так и при сокращении численности, когда идет отбор самых приспособленных

индивидуумов. Выявленная закономерность является дополнительным фактором риска вымирания популяций, численность которых уменьшилась слишком сильно. Таким образом, повышение вариабельности выживания молоди рыб при снижении численности взрослых производителей является довольно «рискованным» экспериментом в жизни популяций малочисленных видов и не гарантирует автоматическое их сохранение. Избранная стратегия выживания луфаря свидетельствует о том, что, несмотря на определенные риски, такая модель достаточно успешно работает и на ближайшую перспективу благополучное состояние популяции этого вида не вызывает опасений.

ВЫВОДЫ

1. Масса тела молоди луфаря (1+, 2+), отловленной у Карадага была в 3,5–8 раз меньше, чем у молоди, выловленной 47 лет тому назад. Уменьшение массы рыб, отловленных в 2018 году, свидетельствует о недостаточной кормовой базе черноморского побережья Юго-Восточного Крыма, необходимой для нормального развития такого количества хищников.

2. У особой мелкой молоди (0+) луфаря (13–14 см) индекс жабр был на 23 % больше, а индекс печени на 43 % меньше по сравнению с более крупной молодью (2+) (19–22 см). Индекс упитанности был больше (на 16 %) у более крупной молоди луфаря, но существенно меньше, чем при нормальном питании в 60-е годы. Изменения соматических индексов, на наш взгляд, отражает аномальное физиологическое развитие молоди рыб.

3. Увеличение плотности популяции молоди луфаря у берегов Карадага имело трехлетний цикл и отмечалось с осени 2016 по 2018 годы, с последующим падением численности рыб в 2019–2020 годах. Подобная «вспышка» молоди луфаря у берегов Карадага была отмечена более 60-ти лет тому назад.

4. Появление в массовом количестве у побережья Карадагского природного заповедника молоди луфаря, как мы полагаем, является следствием улучшения кормового базиса, который, однако, видимо, не способен поддерживать высокую плотность популяции хищника на продолжительную перспективу. Феномен «вспышки» численности этого вида может выступать как стратегия выживания малочисленных популяций в процессе преодоления их генетической инертности и является, по сути, *волнами жизни*.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН «Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН» по теме: «Изучение фундаментальных физических, физиолого-биохимических, репродуктивных, популяционных и поведенческих характеристик морских гидробионтов» номер 121032300019-0.

Список литературы

- Адуева Д. Р., Крючков В. Н., Аль-Бурай А. М. Морфофизиологические особенности кефали рода *Liza* из бассейнов Каспийского и Красного морей // *Естественные науки*. – 2012. – № 2, (39). – С. 118–121.
- Аль-Бурай А.М. Морфофизиологические реакции рыб Красного моря как индикаторы экологического состояния среды: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Астрахань: АГТУ, 2013. – 24 с.
- Анисимова И. М., Лавровский В. В. Ихтиология. М.: Высшая школа, 1983. – 255 с.
- Болтачев А. Р., Карпова Е. П., Морские рыбы Крымского полуострова. Симферополь: БизнесИнформ, 2012. – 224 с.
- Виноградов К. А. Материалы по ихтиофауне района Карадагской биологической станции (Черное море) // *Труды Карадагской биологической станции*. – 1931. – Вып. 4. – С. 137–143.
- Дзюбук И. М., Клюкина Е. А. Морфофизиологический анализ локальной популяции ерша (*Gymnoscephalus cernuus* L.) районе острова Раансаари Ладожского озера методом вариационной статистики // *Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского*. – 2014. – № 4 (1). – С. 214–221.
- Ижевский Г. К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М.: Пищепромиздат, 1961. – 216 с.
- Кожурин Е. А., Шляхов В. А., Губанов Е. П. Динамика уловов промысловых рыб Крыма в Черном море // *Труды ВНИРО*. – 2018. – Т. 171. – С. 157–169.
- Костенко Н. С. Биология Черного моря у берегов Юго-восточного Крыма. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. – 376 с.

Кузьмина Н. В., Зозуль Ю. А. Морфофизиологический анализ жабр черноморских рыб для диагностики состояния прибрежной ихтиофауны // Сб. докл. Междунар. конф. «Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды». Белгород, 2019. – С. 46–53.

Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

Мальцев В. И., Шаганов В. В., Василец В. Е. Современное состояние ихтиокомплекса Карадагского природного заповедника // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2017. – № 2 (4). – С. 36–54.

Моисеенко Т. И. Морфофизиологические перестройки организма рыб под влиянием загрязнения (в свете теории С. С.Шварца) // Экология. – 2000. – № 6. – С. 463–472.

Овен Л. С. О подходах молоди луфаря – *Pomatomus saltatrix* L. к берегам Черного моря в районе Карадага (1947–1954 гг.) // Труды Карадагской биологической станции. – 1957. – Вып. 14. – С. 155–157.

Руднева И. И. Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя. М.: ГЕОС, 2016. – 360 с.

Салехова Л. П., Гордина А. Д., Климова Т. Н. Ихтиофауна прибрежных вод Юго-западного Крыма в 2003–2004 гг. // Вопросы ихтиологии. – 2007. – Т. 47, № 2. – С. 173–187.

Силкин Ю. А., Василец В. Е., Силкина Е. Н., Черняева В. Н., Петрова Т. Н. Изменение размерно-весовых характеристик черноморских рыб побережья Юго-восточного Крыма в различные временные периоды // Материалы V Междунар. Конференции «Современное состояние водных биоресурсов». Новосибирск, 2019. – С. 325–327.

Силкин Ю. А., Василец В. Е., Силкина Е. Н., Силкин М.Ю. Изменение морфосоматических показателей в нерестовом периоде у ставриды *Trachurus mediterraneus ponticus* и скорпены *Scorpaena porcus* // Экосистемы. – 2020. – Вып. 24. – С. 158–169.

Смирнов А. Н. Материалы по биологии рыб Черного моря в районе Карадага // Труды Карадагской биологической станции. – 1959. – Вып. 15. – С. 31–110.

Смирнов В. С., Добринская Л. А., Рыжков Л. П., Божко А. М. Применение метода морфофизиологических индикаторов в экологии рыб // Труды СевНИОРХ. Петрозаводск, 1972. – 168 с.

Тараненко Н. Ф. Некоторые данные по биологии и промыслу луфаря *Pomatomus saltatrix* (Linnaeus, 1758) Черном море // Труды ВНИРО. – 1973. – Т. ХСIII. – С. 149–162.

Терпугова Н. Ю., Грушко Н. П., Федорова Н. Н. Особенности формирования жабр у молоди воблы на нерестилищах дельты Волги // Вестник АГТУ. Серия Рыбное хозяйство. – 2019. – № 2. – С. 66–71.

Трифонов Г. П. Питание молоди некоторых видов рыб в прибрежной зоне Черного моря у Карадага // Труды Карадагской биологической станции АНУССР. – 1960. – Вып. 16. – С. 43–68.

Фащук Д. Я., Куманцов М. И. Черное море взлеты и падения отечественного рыболовства // Известия Российской Академии Наук, Серия географическая. – 2018. – № 2. – С. 86–102.

Хрусталева Е. И., Курапова Т. М., Молчанова К. А. Возрастные изменения морфофизиологических показателей у судака первой генерации при выращивании в условиях замкнутого водообеспечения // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2016. – № 12 (200). – С. 85–91.

Четвериков С. С. Проблемы общей биологии и генетики (воспоминания, статьи, лекции). Новосибирск, 1983. – 272 с.

Шайдуллина Ж. М. Сезонная и возрастная динамика морфофизиологических показателей леща реки Урал: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Астрахань: АГТУ, 2009. – 24 с.

Шульман Г. Е. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М.: Пищевая промышленность, 1972. – 368 с.

Ярыгина В. Н. Биология. Т.2. – М., 2011. – 560 с.

Hjort J. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe. *Rapp P-v Réun Cons Int. Explor. Mer.* – 1914. – 20. – P. 1–228.

Minto C., Myers R. A, Blanchard W. Survival variability and population density in fish populations // *Nature.* – 2008. – V 452. – P. 344–347.

Silkin Yu. A., Vasilets V. E., Silkina E. N., Silkin M. Yu. Size and weight characteristics and value of somatic indices of juvenile bluefish (*Pomatus saltatrix*) captured off the south-eastern coast of Crimea during the population “outbreak” in 2018 // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 97–107.

The authors studied size and weight characteristics and values of somatic indices of juvenile bluefish (*Pomatus saltatrix* Linnaeus, 1758) caught off the coast of Karadag (South-Eastern Crimea) in autumn 2018. Fish specimens of age 0+, 1+, 2+ were identified in almost equal proportions in the studied selection. It was highlighted that at present the mass of juvenile bluefish (1+, 2+) was 3.5–8 times less than that of fish of the same age caught 47 years ago. The liver mass of larger specimens (up to 22 cm; 2+) was 43 % bigger than of smaller specimens (up to 15 cm, 0+). Small juveniles (0+) had a higher gill index (by 23 %) in comparison with larger individuals (2+). The condition index tended to increase (by 16 %) in individuals of 2+ age. The frequency of approaches of juvenile bluefish to the shores of the Karadag was unknown. It was revealed that, growth of population of bluefish lasted for 2–3 years, both now and more than 60 years ago. It was supposed that such an explosive increase in the bluefish abundance resulted from a slight improvement of forage resources. However, the level of the forage resources was apparently not sufficient to maintain a high density of the predator population in the long term. The most probably, the phenomenon of the “outbreak” in population of this species is a survival strategy for small populations of fish in the process of overcoming their genetic inertia and, in fact, it can be considered *the waves of life* discovered by S. Chetverikov at the beginning of last century.

Key words: juvenile bluefish, *Pomatus saltatrix*, south-eastern Crimea, somatic indices, size and weight composition, condition index, waves of life.

Поступила в редакцию 02.07.21

Принята к печати 26.07.21

УДК [502:37.03]:504.75

Динамика системы образования в области экологической безопасности

Хайруллина Л. Б., Мамаева Н. Л., Филиповская О. И.

Тюменский индустриальный университет

Тюмень, Россия

hairullina.1964@mail.ru, mamaeva.natali2011@mail.ru, jk1971@mail.ru

Интенсивное развитие инновационных технологий получения новых материалов, добыча природных ресурсов, урбанизация территорий, сопровождающиеся колоссальными загрязнениями окружающей среды, негативным воздействием природных и антропогенных опасностей на человека приводят нас к поиску более эффективных путей решения экологических проблем. В связи с этим, актуальным вопросом становится развитие экологического образования: необходимо увеличивать количество специалистов с экологическими компетенциями и повышать экологическую культуру населения. В работе анализируются статистические данные по подготовке специалистов в области экологической безопасности с 2014 по 2019 год в городе Тюмени и по количеству обучающихся в кружках, волонтерских объединениях и общественных организациях, направленных на экологическое воспитание и образование в Тюменской области. Выявлены благоприятные тенденции в развитии экологического образования в Тюменской области. Авторы уверены, что повышение экологического образования населения является важным фактором в преодолении современных экологических проблем, что подтверждено рядом их научных статей, опубликованных ранее. Развитие системы образования специалистов в области экологической безопасности, а также использование различных форм экологического воспитания и образования населения способствуют улучшению экологической ситуации в стране и укреплению вопросов национальной безопасности.

Ключевые слова: экологическое образование, специалист в области экологической безопасности, цели устойчивого развития, экологическая культура, экологическое поведение.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, в связи со стремительными темпами развития промышленности и технологий, проблема защиты окружающей природной среды становится актуальной (Петров, Мамаева, 2018; Волкова, 2021). В решении данной проблемы необходим системный подход. Так, в 2015 году была принята Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года (Повестка дня..., 2015), которая содержит 17 целей устойчивого развития (ЦУР), направленных на сохранение ресурсов планеты и обеспечение благополучия для всех.

Для достижения целей в области устойчивого развития, необходимы совместные усилия правительств, производственных и образовательных структур, международных и государственных общественных организаций.

Достижение целей отслеживается по ряду показателей (Национальные показатели ЦУР, 2017), среди которых можно выделить показатели, характеризующие санитарное состояние атмосферного воздуха, водоемов и почв, долю утилизированных и переработанных отходов и другое.

Согласно, ежегодным отчетам (Доклад об экологической..., 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020), количество проб воздуха с неудовлетворительным содержанием загрязняющих веществ, в целом, по Тюменской области остается стабильным, но в период с 2016 по 2019 год наблюдается выраженный рост выбросов угарного газа, углеводородов и летучих органических соединений. Также, существует небольшой, но стабильный рост выбросов автотранспорта, который, заметно, увеличивается в 2019 году.

Показатели оборотного водоснабжения для предприятий-природопользователей увеличились в 1,5 раза и, в общем, объем сточных вод в поверхностные водные объекты снижается, но количество неочищенных сточных вод растет. Площадь земель, на которых

распространены негативные процессы, такие как химическое загрязнение, заболачивание, эрозия, увеличилась с 2015 года в 12,7 раз. Ежегодное количество образующихся отходов в Тюменской области возросло с 2010 года почти в 2 раза, а утилизируется и обезвреживается из них только 58 % (Доклад об экологической ситуации в Тюменской области, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

С целью осуществления общественного мониторинга, и сравнительной оценки регионов Российской Федерации, в сфере экологической безопасности и охраны окружающей среды, Общероссийская Общественная организация «Зеленый патруль» проводит Национальный экологический рейтинг субъектов Российской Федерации. Согласно данному рейтингу, Тюменская область на период с 01.03.2021 по 31.05.2021 находилась на 24 месте из 85 регионов Российской Федерации (Национальный экологический рейтинг, 2021).

Оценку экологического состояния также характеризуют показатели количества объектов эколого-просветительской деятельности и познавательного туризма и их посетителей (Национальные показатели ЦУР, 2017).

Знания культуры экологической безопасности помогают человеку ориентироваться в сложном мире быстроразвивающихся инновационных технологий, производственных процессов, техники, в уровнях негативного воздействия природных и антропогенных факторов (Шахмарданов, 2008), поэтому существует острая необходимость наращивания количества квалифицированных специалистов в этой области знаний, повышения их компетентности, просвещения населения и развития навыков экологического поведения.

В связи с этим, цель работы – изучить динамику системы образования специалистов в области экологической безопасности в вузах города Тюмени, а также оценить охват обучающихся различными формами экологического воспитания и образования в Тюменской области.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье рассмотрена динамика системы образования подготовки специалистов высшего образования в области экологической безопасности с 2014 по 2019 год в городе Тюмени и сведения о количестве обучающихся в кружках, волонтерских объединениях и общественных организациях, направленных на экологическое воспитание и образование в Тюменской области, без автономных округов (Доклад об экологической ситуации..., 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020). Количественные данные обработаны с применением программы Excel с построением линии тренда и нахождением величины достоверности аппроксимации (R^2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений деятельности в области экологической безопасности является развитие системы экологического образования. Подготовку специалистов высшего образования в городе Тюмени за последние годы, в основном, осуществляют следующие образовательные организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (ТИУ), Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет» и Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья».

Данные количества обучающихся по направлению экологической безопасности с 2014 по 2019 год в городе Тюмени представлены на рисунке 1.

На графике мы видим линии тренда и нахождение величины достоверности аппроксимации, где количество обучающихся за этот период, заметно, увеличивается.

В 2019 году численность возросла на 62 % по сравнению с 2014 годом.

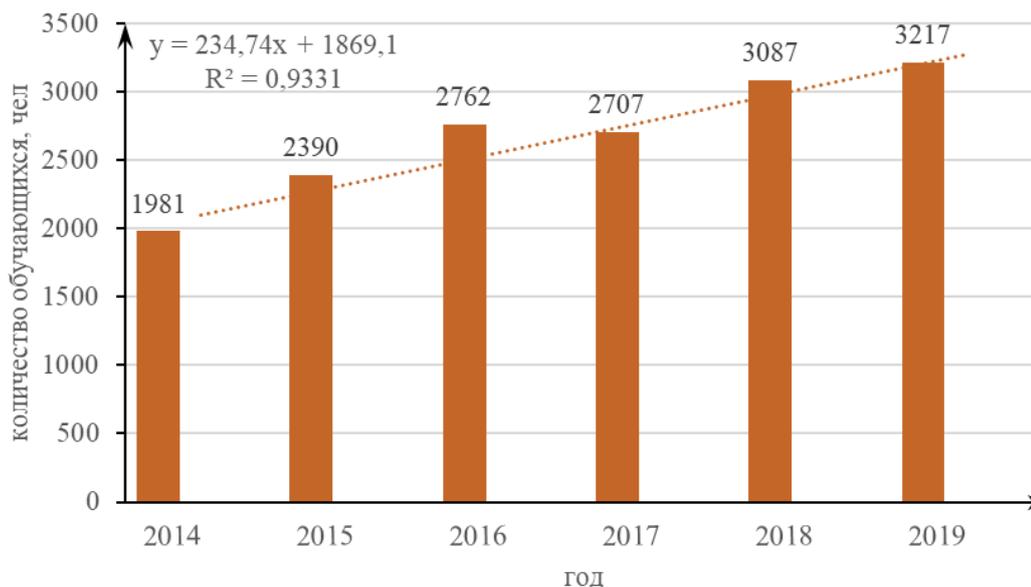


Рис. 1. Динамика количества обучающихся по направлению экологической безопасности с 2014 по 2019 год в вузах города Тюмени

Линия тренда имеет «восходящий» характер, а высокий коэффициент аппроксимации ($R^2=0,9331$), позволяет сделать положительный прогноз на дальнейшее увеличение численности обучающихся в ближайшие годы.

Количество обучающихся по направлению подготовки «Техносферная безопасность» в Тюменском индустриальном университете, в зависимости от формы обучения, представлено на рисунке 2.

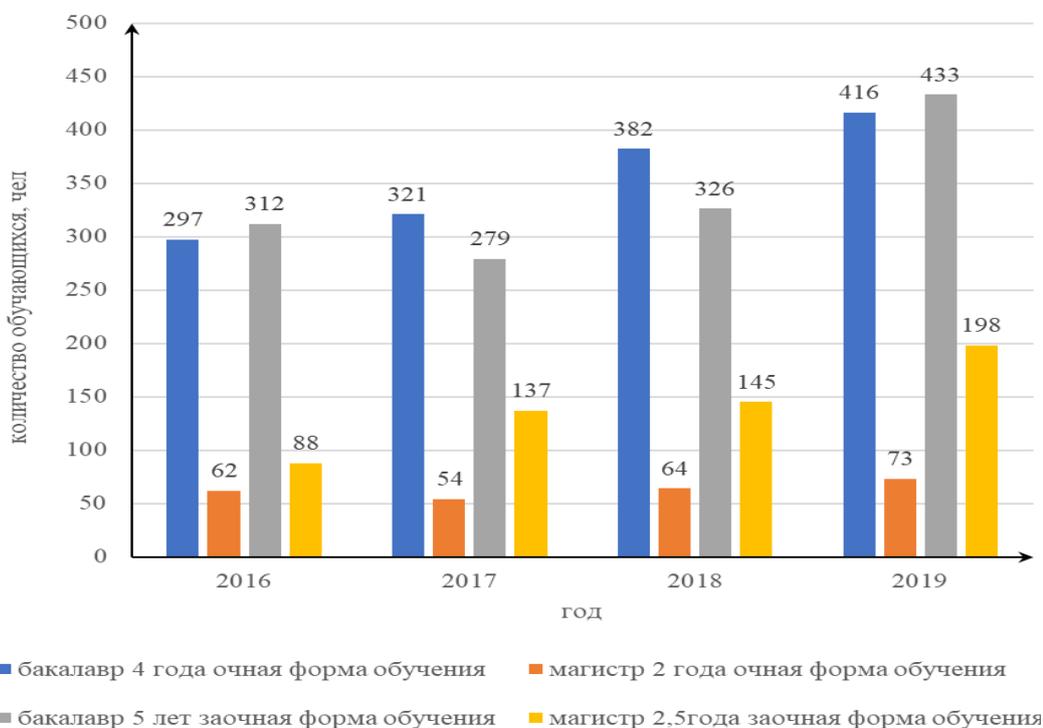


Рис. 2. Динамика численности обучающихся в ТИУ по направлению подготовки «Техносферная безопасность»

Количество бакалавров очной формы обучения ($y = 41,8x + 249,5$; $R^2 = 0,9744$) и магистров заочной формы обучения ($y = 33,8x + 57,5$; $R^2 = 0,9386$), стабильно росло с 2016 по 2019 год, что описывается линейной зависимостью с величиной достоверности аппроксимации близкой к единице.

Численность бакалавров за рассматриваемый период увеличилась на 40 %, магистров – на 125 %.

Количество бакалавров заочной формы обучения ($y = 41x + 235$; $R^2 = 0,6308$) и магистров очной формы обучения ($y = 4,3x + 52,5$; $R^2 = 0,5059$) с 2016 по 2019 год также становится больше, но линии тренда имеют невысокий коэффициент линейной аппроксимации, что говорит о более сложном характере роста численности этих обучающихся.

В развитии профессиональных компетенций и экологической культуры, а также формировании правильного экологического поведения большая роль отводится внеучебной деятельности школьников и студентов (Стародубцев, 2015; Лустгарден, 2017).

В эту деятельность активно вовлекаются и студенты ТИУ, например, в 2019 году они приняли активное участие в следующих мероприятиях:

- экоуроки по отдельному сбору отходов и их переработку в МАОУ СОШ № 27 и МАОУ СОШ № 88 города Тюмени;
- экологический кейс-чемпионат для студентов ТИУ, где девять команд студентов разработали и защитили проекты, направленные на решение экологических проблем Тюменской области;
- мастер-классы для студентов – внедрение отдельного сбора отходов от целого к частному;
- акции по сбору макулатуры в корпусах и общежитиях университета;
- отдельный сбор отходов, где участники могли сдать на переработку пластик, жестяные банки, макулатуру.

Также студенческое объединение Green TIU провело:

- мастер-классы для детей по росписи экосумок;
- лекции про экопривычки и мастер-классы по созданию сладостей без упаковки;
- фестиваль ВузЭкоФест: студенты обсудили актуальные, для ТИУ, цели устойчивого развития, научились изготавливать экоручки, экомешочки, обменялись вещами на дармарке (Доклад об экологической ситуации в Тюменской области, 2020).

Подобные акции играют важную роль в экологическом просвещении населения. Кроме того, в данном вопросе в Тюменской области, большая роль отводится не только профессиональному образованию, но и учреждениям дополнительного образования, кружкам, волонтерским объединениям и общественным организациям экологической направленности (Стародубцев, 2015).

Знания культуры экологической безопасности помогают человеку ориентироваться в сложном мире быстроразвивающихся инновационных технологий, производственных процессов, техники, в уровнях негативного воздействия природных и антропогенных факторов. Поэтому существует острая необходимость наращивания количества квалифицированных специалистов в области экологической безопасности, повышения их компетентности, просвещения населения и развития навыков экологического поведения.

На рисунке 3 представлена динамика количества человек в Тюменской области с 2015 по 2019 год, занятых в кружках, волонтерских объединениях и общественных организациях, целью которых является формирование экологической культуры, воспитания и образования.

Количество человек, занятых в кружках, волонтерских объединениях и общественных организациях, за рассматриваемые годы, также растет, как в целом по Тюменской области, так и по городу Тюмени.

За период с 2015 по 2019 год их общее количество возросло на 64 % в городе Тюмени и на 42 % – в Тюменской области.

Рост численности за рассматриваемые годы аппроксимируется линейной зависимостью с величиной достоверности близкой к единице.

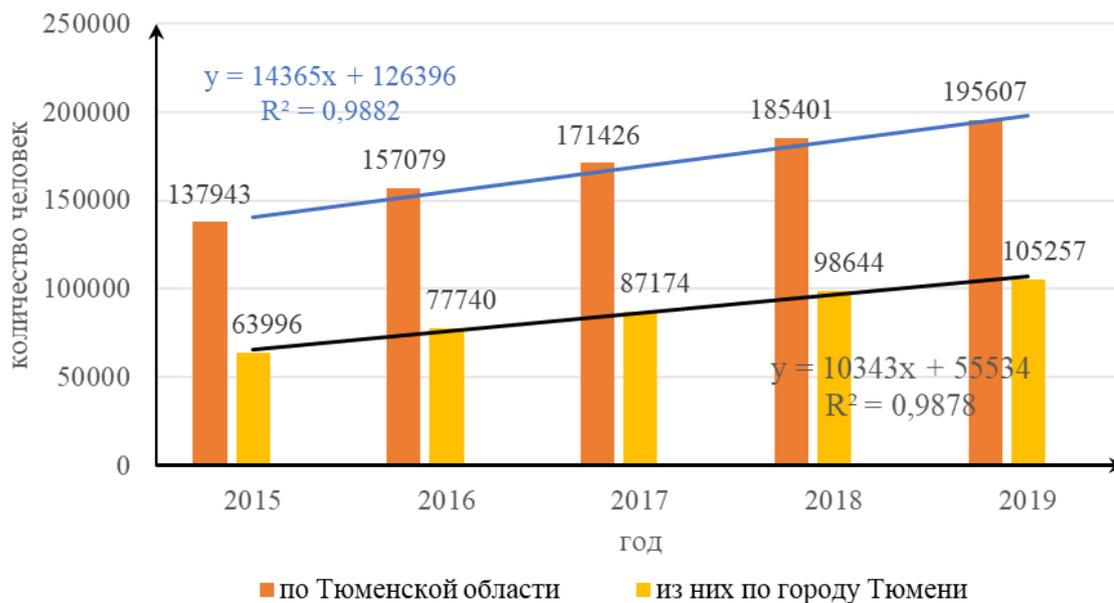


Рис. 3. Общая численность человек, охваченных экологическим воспитанием и образованием в кружках, волонтерских объединениях и общественных организациях Тюменской области

На рисунках 4 и 5 представлено более детальное распределение количества человек, занятых различными формами экологического воспитания и образования, проживающих как в Тюменской области (без автономных округов), так и в областном центре.



Рис. 4. Количество человек, принимающих участие в экологических кружках, волонтерских объединениях и общественных организациях в Тюменской области



Рис. 5. Количество человек, принимающих участие в экологических кружках, волонтерских объединениях и общественных организациях в городе Тюмени

Как видно из графиков, наибольший рост численности наблюдается в общественных организациях экологической направленности в городе Тюмени: с 2015 по 2018 год их численность возросла в 3,4 раза. В кружках и волонтерских объединениях численность в среднем выросла на 30 – 50 % как по городу Тюмени, так и по Тюменской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проанализировав статистические данные по количеству специалистов в области экологической безопасности, обучающихся в вузах города Тюмени, и по количеству человек, занятых экологическим воспитанием и образованием в кружках, волонтерских объединениях и общественных организациях экологической направленности в Тюменской области, можно увидеть благоприятные тенденции в развитии экологического образования, культуры и просвещения.

Авторы статьи считают повышение экологического образования населения очень важным фактором в преодолении различных экологических проблем современности, что подтверждено рядом научных статей (Хайруллина, Мамаева, 2018; Khairullina et al., 2019), поэтому в данном направлении работа будет продолжена.

Список литературы

Волкова О. Н. Перспективные экологические профессии в условиях нарастания экологического кризиса // Экосистемы. – 2021. – № 25 (55). – С. 125–134.

Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2014 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=11311114%40cmsArticle (просмотрено 24.06.2021).

Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2015 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=11377597@cmsArticle (просмотрено 24.06.2021).

Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2016 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=11447166%40cmsArticle (просмотрено 24.06.2021).

Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2017 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=11552245%40cmsArticle (просмотрено 24.06.2021).

Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2018 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=11653171@cmsArticle (просмотрено 24.06.2021).

Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2019 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=11865984@cmsArticle (просмотрено 24.06.2021).

Лустгарден Т. Ю. Формирование специалиста по техносферной безопасности // Вестник КГУ. – 2017. – № 4. – С. 120–124.

Национальные показатели целей устойчивого развития (ЦУР) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/sdg/national> (просмотрено 26.06.2021).

Национальный экологический рейтинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://greenpatrol.ru/sites/default/files/default_images/prilozhenie_1._ekologicheskij_reyting_regionov._vesna_2021.pdf (просмотрено 10.07.2021).

Петров С. А., Мамаева Н. Л. Особо охраняемые природные территории и традиционные виды хозяйственной деятельности коренных народов севера // Экосистемы. – 2018. – № 16 (46). – С. 3–11.

Повестка дня в области устойчивого развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/about/development-agenda/> (просмотрено 26.06.2021).

Стародубцев В. А., Родионов П. В. Общественная профессиональная организация как база неформального обучения студентов техносферной безопасности // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2015. – № 8 (161). – С. 105–108.

Хайруллина Л. Б., Мамаева Н. Л. О повышении экологического образования населения // Экология и культура: Материалы Международной научно-практической конференции (Тюмень, 2018 г.). – Тюмень: ТИУ, 2018. – С. 89–91.

Шахмарданов З. А. Экологическое образование, просвещение и воспитание населения // Известия ДГПУ. – № 3. – 2008. – С. 91–98.

Khairullina L. B., Mamaeva N. L., Filipovskaya O. I., Makhneva A. N., Telushkina T. Yu. Engineering thinking and ways to form it in students of higher educational institutions // Periódico Tchê Química. – 2019. – Vol. 16. – N 31. – P. 800–807.

Khairullina L. B., Mamaeva N. L., Filipovskaya O. I. Dynamics of the educational system in environmental safety // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 108–114.

Intensive development of innovative technologies for production of new materials, extraction of natural resources, urbanization of territories, accompanied by enormous pollution of environment and huge impact of natural and anthropogenic hazards on people result in searching more effective ways to solve environmental problems. In this regard, environmental education of younger generation, training of specialists armed with knowledge and competencies of environmental culture, as well as education of population and advanced training of personnel in environmental safety is becoming an urgent issue. The article provides quantitative data how many specialists were trained in environmental safety in Tyumen from 2014 to 2019. Moreover, the paper analyzes statistical data on number of students in clubs, public organizations and volunteer associations aimed at environmental education in Tyumen Oblast. Favorable tendencies in the development of environmental education and awareness in the region are revealed. The authors have studied this problem before and have published a number of scientific articles, therefore, they are confident that enhancing environmental education is an important factor in overcoming the environmental crisis. Development of the system of education of experts in environmental safety along with application of various forms of environmental education for young people contribute to improving environmental situation and strengthening national security in the country.

Key words: environmental education, expert in environmental safety, sustainable development goals, environmental culture, environmental behavior.

Поступила в редакцию 02.08.21

Принята к печати 20.08.21

УДК 581.6:582.284

Биоконверсия цветочно-травянистых отходов эфирномасличного производства штаммами *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) и *Agaricus bisporus* (Lge.)

Семенова Е. Ф.¹, Карасева Е. В.², Назаров В. В.¹,
Маркелова Н. Н.³, Курдюков Е. Е.²

¹ Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, Россия
sef1957@mail.ru, vvn22222@mail.ru

² Пензенский государственный университет
Пенза, Россия
lenochek_zhuchenko@mail.ru, e.e.kurdyukov@mail.ru

³ Научно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков имени Г. Ф. Гаузе
Москва, Россия
nataljamarkelova@yandex.ru

Современные подходы, которые применяются к разработке безотходных, экологически чистых технологий для эфиромасличных культур, направлены на вторичную переработку сырья в виде зеленой массы растений, идущей после извлечения эфирного масла на выброс в количестве 160–220 тыс. т/год. В результате биотехнологических исследований, проведенных при различных режимах влажности в контролируемых условиях получены новые данные по биоконверсии крупнотоннажного цветочно-травянистого сырья после переработки. Впервые выявлены виды отходов эфирномасличного производства, оптимальные для выращивания мицелия съедобных грибов. Отмечено, что наилучшим субстратом для рациональной биоконверсии является зеленая масса шалфея мускатного после экстракции. Проведенные исследования показали, что утилизация твердых отходов переработки лаванды, розы, шалфея, мяты практически не зависит от видовой принадлежности базидиомицетов. Однако, имеется тенденция к штаммовой специфичности грибов *Agaricus bisporus*, *Lentinus edodes*; *Pleurotus ostreatus*, отличающихся более высоким содержанием серосодержащих аминокислот (5–6 г на 100 г белка) и низкой концентрацией нуклеиновых кислот (1,6–2,5 % от сухого вещества). Следует отметить высокий уровень накопления октен-3-ола (основного компонента, обуславливающего запах съедобных грибов) штаммами *P. ostreatus* (до 1,38 г/кг субстрата), подтвержденный органолептической оценкой культур. Анализ кормовой ценности (содержание протеина, витаминов, фосфора и др.) вторичных растительных отходов после выращивания на них грибного мицелия свидетельствует о повышении их качества в 2–5 раз. Полученные результаты позволяют рекомендовать культивирование мицелия съедобных грибов на твердой фазе отходов переработки мяты перечной, лаванды настоящей, шалфея мускатного для производства полноценной (обогащенной белками и витаминами) биомассы кормового назначения. Кроме того, проведенная работа может служить основанием для создания технологии плодовых тел грибов с использованием вторичных материальных ресурсов эфирномасличного производства в качестве начального этапа выращивания шампиньона и вешенки как продуктов функционального питания.

Ключевые слова: биоконверсия, экологически чистая технология, рациональное использование вторичных ресурсов, цветочно-травянистые отходы эфирномасличного производства, съедобные базидиальные грибы.

ВВЕДЕНИЕ

В разных странах мира в последнее время из-за дефицита и роста стоимости белка (особенно животного происхождения) уделяют большое внимание переработке лигноцеллюлозных материалов в высокобелковые кормовые и пищевые добавки с помощью различных микроорганизмов. Объясняется это почти неограниченными возможностями получения белка в виду того, что у микроорганизмов, имеющих короткий цикл развития, продуктивность в несколько тысяч раз превышает этот показатель у животных и растений. Важным преимуществом является и то, что микроорганизмы можно культивировать на растительных субстратах, ресурсы которых велики и стабильны, так как ежегодно восполняются. В последние 25–30 лет значительно интенсифицировалось изучение

ароматообразующих базидиальных грибов, вызванное потребностью пищевой и комбикормовой промышленностью в новых путях получения натуральных продуктов и биологически активных добавок для удовлетворения спроса населения и животноводства (Janssens et al., 1992; Krings, Berger, 1998; Семенова, Богданов, 2000). Современные подходы, которые применялись к разработке безотходных технологий для эфиромасличных культур, были направлены на вторичную переработку сырья в виде зеленой массы растений, идущей после извлечения эфирного масла на выброс. Наиболее крупнотоннажным сырьем, из которого получали тонны, десятки тонн эфирных масел, были такие эфирносы, как лаванда, шалфей, мята, роза. Поэтому перспективным сырьем для получения белковых продуктов могут быть признаны и растительные отходы эфиромасличного производства, количество которых после переработки цветочно-травянистого сырья составляет 160–220 тыс. т/год (Паштецкий и др., 2017). В связи с этим разработка биотехнологического использования отходов эфирномасличной промышленности приобретает особую актуальность.

Цель работы – рациональная биоконверсия менее ценных компонентов твердой фазы отходов переработки эфирномасличных растений в более ценные путем культивирования мицелия съедобных базидиомицетов в различных условиях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили штаммы базидиальных грибов, полученные из коллекций Института ботаники имени Н. Г. Холодного (Украина), Института микробиологии и вирусологии имени Д. К. Заболотного (Украина), Института биохимии и физиологии микроорганизмов имени Г. К. Скрябина (Россия): *Agaricus bisporus* IBK (ИБК) 459, *Lentinus edodes*; *Pleurotus ostreatus* Kum. IMV (ИМВ) F1300, VKM (VKM) F2008 (IBK 109).

Культивирование грибов (поддержание рабочей коллекции, выращивание посевного материала) осуществляли на известных средах (Практикум по биохимии и физиологии грибов, 2018). В экспериментах основным субстратом для выращивания мицелия служил растительный материал розы эфирномасличной, лаванды настоящей, шалфея мускатного, мяты перечной после извлечения целевых продуктов методом дистилляции и (или) экстракции в заводских и лабораторных условиях.

Выделение ароматообразующих соединений осуществляли методами экстракции и дистилляции. Для количественного определения эфирного масла использовали методику, предложенную в Государственной фармакопее XIV издания (2018). Определение компонентного состава извлеченного масла проводили на хроматографах «Хром-5», «Кристалл 2000М» с пламенно-ионизационным детектором на полярной колонке (Гуринович, Пучкова, 2005).

Математическую обработку данных проводили с помощью статистической программы STATISTICA 10.0 (Платонов, 2000) при уровне значимости $P=0,95$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее перспективными с целью получения натуральных пищевых ароматизаторов являются культуры базидиомицетов, поскольку они способны накапливать промышленно важные и биологически активные метаболиты (табл. 1). Они представляет интерес как продуценты летучих душистых веществ с «грибным» ароматом, который обусловлен алифатическими 8-углеродными соединениями (1-октен-1-ол, 1-октен-3-он, 1-октен-3-ол, 3-октанол и др.), некоторыми пиразинами и пирролами. При глубинном культивировании могут быть использованы в производствах пищевой промышленности для получения натуральных ароматизаторов с грибным запахом (Demain, 1999). Кроме того, штаммы *Agaricus bisporus*, *Lentinus edodes*; *Pleurotus ostreatus*, отличаются от других микроорганизмов (Thorp, Bowes, 2016) более высоким содержанием серосодержащих аминокислот (5–6 г на 100 г белка) и низкой концентрацией нуклеиновых кислот (1,6–2,5 % от сухого вещества).

Таблица 1

Результаты ароматообразующей оценки некоторых исследованных видов базидиомицетов

| Таксономическое положение | Синтезируемые летучие душистые вещества | Запах | Уровень накопления ароматического продукта, мг/л |
|---|---|-----------------|--|
| <i>Agaricus bisporus</i> (Agaricaceae) | 3-метилбутаналь, 3-октанон, 1-октен-3-он, 3-октанол, 1-октен-3-ол, фурфураль, бензальдегид, фенилацетальдегид, бензиловый спирт | сильный грибной | 70,3–230,0 |
| <i>Lentinus edodes</i> (Polyporaceae) | лентионин, 1-октен-3-ол, 1-октен-3-он | грибной | 46,7–101,9 |
| <i>Pleurotus ostreatus</i> (Pleurotaceae) | 1-октен-3-ол, 1-октен-3-он | грибной | 95,3–210,4 |

Грибной белок, аминокислотный состав которого соответствует нормам ФАО, легко усваивается без предварительной обработки. Грибной белковый продукт в качестве кормовой добавки содержит ароматические вещества, которые придают ему приятный запах и тем самым улучшают органолептические свойства и потребление организмом. Следует также отметить и другие достоинства: значительное количество минеральных солей калия, фосфора, железа, кальция; наличие витаминов, не разрушающихся при физико-химическом воздействии; содержание ряда биологически активных веществ, влияющих на процессы обмена (снижают уровень холестерина в крови) и обладающих лечебными свойствами.

Отработка рациональной биоконверсии менее ценных компонентов твердой фазы отходов переработки эфирномасличных растений: розы эфирномасличной, лаванды настоящей, шалфея мускатного, мяты перечной в более ценные путем культивирования мицелия съедобных базидиомицетов при двух режимах влажности воздуха в культиваторе представлена на рисунках 1 и 2. Исследования показали, что утилизация твердых отходов переработки лаванды, шалфея и мяты возможна при биотрансформации базидиальными грибами и практически не зависит от их видовой принадлежности, но есть тенденция к штаммовой специфичности. Лучшим питательным субстратом для развития мицелия в условиях 100 % относительной влажности воздуха является растительный материал мяты после паровой перегонки с его последующим экстрагированием. Через 2 недели инкубации субстрат был полностью пронизан белыми нитями – гифами и имел четко выраженный грибной аромат. Однако высокой скоростью роста (в 2 раза выше) изучаемые штаммы обладали при утилизации отходов шалфея мускатного после экстракции: в течение одной недели гифы мицелия пронизывали весь субстрат (табл. 2).

Следует отметить высокий уровень накопления октен-3-ола (основного компонента, обуславливающего запах съедобных грибов) при культивировании штаммов *Pleurotus ostreatus*, подтвержденный органолептической оценкой культур. Изученные штаммы базидиомицетов в глубинной культуре также накапливали большие количества биомассы, например, биомасса штамма *P. ostreatus* ИМВ F1300 в течение 6 суток достигала 16 г на кг субстрата. Однако, уровень накопления ароматообразующих соединений прямо зависел от этого показателя: штаммом *Agaricus bisporus* ИБК 459 в течение 3 суток при биомассе 2,34 г/кг синтезировалось 30,0 мг/кг эфирного масла, а через 6 суток при биомассе 11,86 г/кг образовалось 41,4 мг/кг эфирного масла и 262,0 мг/кг экстракта.

Установлено, что мицелиальная масса съедобных грибов сохраняла грибной аромат после сушки в процессе длительного хранения (до 10 лет), а также при кулинарной обработке,

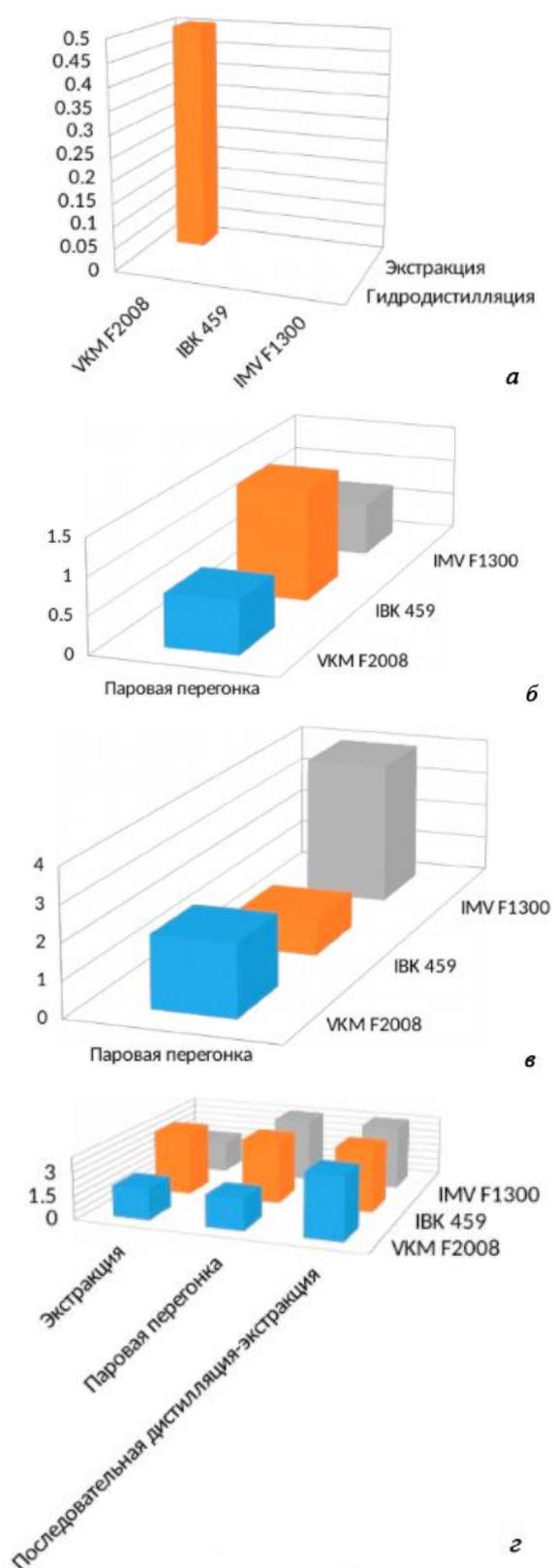


Рис. 1. Степень развития грибовидной штаммы базидиомицетов в различных субстратах – отходах переработки цветочно-травянистого эфирномасличного сырья при влажности воздуха 50 %: розы эфирномасличной (а); лаванды настоящей (б); шалфея мускатного (в); мяты перечной (г)

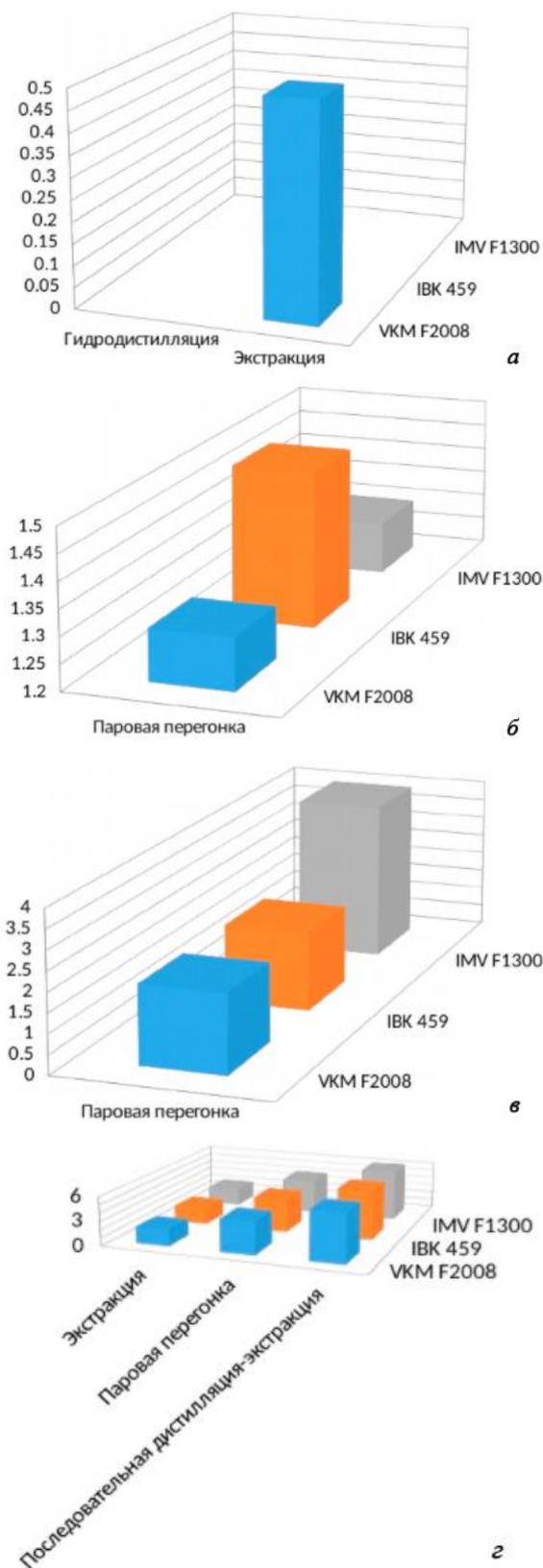


Рис. 2. Степень развития грибницы базидиомицетов в различных субстратах – отходах переработки цветочно-травянистого эфирномасличного сырья при влажности воздуха 100 %: розы эфирномасличной (а); лаванды настоящей (б); шалфея мускатного (в); мяты перечной (г)

Таблица 2

Биосинтетическая активность базидиомицетов при твердофазном культивировании

| Субстрат | Штамм | Выход ЭЭ, мг/кг субстрата | Выход октен-3-ола, мг/кг субстрата | Содержание октен-3-ола, % в ЭЭ |
|----------------------------|-----------|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Pleorotus ostreatus</i> | | | | |
| ОШЭ | ИМВ F1300 | 580 | 570 | 98,2 |
| ОШЭ | ВКМ F2008 | 1450 | 1380 | 95,1 |
| <i>Agaricus bisporus</i> | | | | |
| ОШЭ | ИБК 459 | 490 | 420 | 85,7 |

Примечание к таблице. ЭЭ – эфирный экстракт, ОШЭ – отходы шалфея после экстракции.

Таблица 3

Кормовая ценность вторичных растительных отходов цветочно-травянистого сырья после выращивания базидиомицетов

| Субстрат | Штамм | Протеин, % | Витамин С, % | Каротиноиды, % | Токоферолы, % | Фосфор, % | Хлорофилл, % |
|----------|----------|-------------|--------------|----------------|---------------|-----------|--------------|
| ОМДЭ | ИМВ 1300 | 12,18–25,07 | 0,007–0,015 | 0,07–0,54 | 0,60–1,03 | 0,42–0,52 | 1,60–6,98 |
| ОРЭ | ВКМ 2008 | 15,83–28,97 | 0,250–0,570 | 0,11–0,78 | 0,59–1,22 | 0,34–0,48 | 0,02–0,10 |
| ОЛД | ИБК 459 | 14,28–32,70 | 0,002–0,018 | 0,03–0,50 | 0,06–0,09 | 0,50–0,72 | 1,54–2,05 |

Примечание к таблице. ОРЭ – отходы розы после экстракции, ОМДЭ – отходы мяты после дистилляции и последующей экстракции; ОЛД – отходы лаванды после дистилляции.

в частности, кипячении в течение 10–15 минут, что позволяет использовать ее в пищевых целях. Результаты анализов кормовой ценности (содержание протеина, витаминов, фосфора и др.) вторичных растительных отходов после выращивания на них грибного мицелия свидетельствует о повышении их качества в 2–5 раз (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные подходы, которые применяются к разработке безотходных, экологически чистых технологий для эфиромасличных культур, направлены на вторичную переработку сырья в виде зеленой массы растений, идущей после извлечения эфирного масла на выброс в количестве 160–220 тыс. т/год. В результате биотехнологических исследований, проведенных при различных режимах влажности в контролируемых условиях получены новые данные по биоконверсии крупнотоннажного цветочно-травянистого сырья после переработки. Впервые выявлены виды отходов эфирномасличного производства, оптимальные для выращивания мицелия съедобных грибов. Отмечено, что наилучшим субстратом для рациональной биоконверсии является зеленая масса шалфея мускатного после экстракции. Следует отметить высокий уровень накопления октен-3-ола (основного компонента, обуславливающего запах съедобных грибов) штаммами *P. ostreatus* (до 1,38 г/кг субстрата), подтвержденный органолептической оценкой культур. Анализ кормовой ценности (содержание протеина, витаминов, фосфора и др.) вторичных растительных отходов после выращивания на них грибного мицелия свидетельствует о повышении их качества в 2–5 раз.

Полученные результаты позволяют рекомендовать культивирование мицелия съедобных грибов на твердой фазе отходов переработки мяты перечной, лаванды настоящей, шалфея мускатного для производства полноценной, обогащенной белками и витаминами, биомассы кормового назначения. Кроме того, проведенная работа может служить основанием для создания технологии плодовых тел грибов с использованием вторичных материальных ресурсов эфирномасличного производства в качестве начального этапа выращивания шампиньона и вешенки как продуктов функционального питания (Амброзевич, 2005).

Список литературы

- Амброзевич Е. Г. Особенности европейского и восточного подходов к ингредиентам для продуктов здорового питания // Пищевые ингредиенты, Сырье и добавки. – 2005. – № 1. – С. 30–31.
- Государственная фармакопея Российской Федерации. МЗ РФ. XIV издание. Т. 4. – М., 2018. – С. 6284-6292.
- Гуринович Л. К., Пучкова Т. В. Эфирные масла: химия, технология, анализ и применение. – М.: Школа Косметических химиков, 2005. – 192 с.
- Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В., Мишнев А. В., Назаренко Л. Г. Эфиромасличная отрасль Крыма. Вчера, сегодня, завтра. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2017. – 244 с.
- Платонов А. Е. Статистический анализ в медицине и биологии: задачи, терминология, логика, компьютерные методы. – М.: Из-во РАМН, 2000. – 52 с.
- Практикум по биохимии и физиологии грибов / [Ред. проф. А. В. Кураков]. – М.: Изд. Биологический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2017. – 220 с.
- Семенова Е.Ф., Богданов Н. И. Некоторые результаты биотехнологии ароматических продуктов // Сб. трудов «Инновационные технологии и продукты». – Новосибирск, 2000. – Вып. 4. – С. 9–13.
- Demain A. L. Metabolites, Primary and Secondary // Encyclopedia of Bioprocess Technology: Fermentation, Biocatalyst and Boiseparation. [Eds. M. C. Flickinger, S. W. Draw]. – Wiley Interscience, John Wiley and Sons Inc., New York, USA, 1999. – V. 3. – P. 1713–1732.
- Krings U., Berger R. G. Biotechnological production of flavours and fragrances // Applied Microbiology and Biotechnology. – 1998. – V. 49. – P. 1–8.
- Janssens L., De Pooter H. L., Schamp N. M., Vandamme E. J. Production of flavours by microorganisms // Process Biochemistry. – 1992. – V. 27. – P. 195–215.
- Thorp J. M., Bowes R. E. Carbon sources in riverine food webs: new evidence from amino acid isotope techniques. Ecosystems. – 2016. – N 20 (5). – P. 1029–1041.

Semenova E. F., Karaseva E. V., Nazarov V. V., Markelova N. N., Kurdyukov E. E. Bioconversion of flower-herbaceous waste of essential oil production by strains *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) and *Agaricus bisporus* (Lge.) // Ekosistemy. 2021. Iss. 28. P. 115–121.

Modern approaches to the development of waste-free, environmentally friendly technologies for essential oil crops are aimed at recycling solid residues, which after the extraction of essential oil are destroyed in the amount of 160-220 thousand tons per year. As a result of biotechnological studies conducted in a controlled environment with various levels of humidity, new data were obtained on the bioconversion of large tonnage of floral-herbaceous raw materials after the extraction of essential oils. For the first time, certain types of solid residues from essential oil production that are optimal for growing mycelium of edible mushrooms have been identified. The best substrate for rational bioconversion is the solid residue after the extraction of clary sage. Studies have shown that the recycling of solid residues after processing lavender, rose, sage, mint practically does not depend on the species of Basidiomycetes. However, there is a tendency towards strain specificity of *Agaricus bisporus*, *Lentinus edodes*, *Pleurotus ostreatus*, which are distinguished by a higher content of sulfur-containing amino acids (5–6 g per 100 g of protein) and a low concentration of nucleic acids (1.6–2.5 % per dry matter). It should be noted that the high level of octen-3-ol accumulation (the main component responsible for the smell of edible mushrooms) by *P. ostreatus* strains (up to 1.38 g per 1 kg of substrate), confirmed by organoleptic assessment of cultures. Analysis of nutritional value (content of protein, vitamins, phosphorus, etc.) of fodder from solid residues after growing mushroom mycelium on them indicates an increase in their quality by 2–5 times. The results obtained make it possible to recommend the cultivation of edible mushrooms mycelium on the solid residues created after processing peppermint, lavender, clary sage to produce fodder enriched with proteins and vitamins. In addition, the study conducted can serve as the basis for creating a technology for cultivating fungal fruiting bodies using solid waste residues from essential oils production as an initial stage in growing *A. bisporus* and *P. ostreatus* as functional foods.

Key words: bioconversion, environmentally friendly technology, rational use of secondary resources, flower and herbaceous waste of essential oil production, edible basidiomycetes.

Поступила в редакцию 15.11.21
Принята к печати 15.12.21

УДК 595.799:591.5(292.471)

Giant resin bee *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith, 1853 (Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae), an invasive species in the Crimea (notes on its biology)¹

Ivanov S. P.¹, Fateryga A. V.², Zhidkov V. Yu.¹, Pivovarenko N. A.³

¹ Taurida Academy of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University
Simferopol, Republic of Crimea, Russia
spi2006@list.ru, aravar@list.ru

² T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of RAS – Branch of A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS
Feodosia, Republic of Crimea, Russia
fater_84@list.ru

³ Junior Academy of Science of the Crimea “Iskatel”
Simferopol, Republic of Crimea, Russia
pivovarenkodkb@mail.ru

A new invasive bee species, *Megachile sculpturalis* Smith, 1853 was revealed nesting in Simferopol (Crimea) in 2019. Bees occupied a “bee hotel” located on the 5th floor of a building on the outskirts of the town. These bees were transferred to one and two new localities in 2020 and 2021, respectively. A total of 86 nesting females were found in these three localities in 2021. Females built their nests in paper tubes and reed canes. One nest contained from 1 to 12 cells constructed of conifer resin with the addition of mud and sawdust. The females visited flowers of five different plant species; though, they brought only pollen and nectar taken from *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott to their nests.

Key words: giant resin bee, nesting, “bee hotel”, *Styphnolobium japonicum*.

INTRODUCTION

The native range of the giant resin bee *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith, 1853 includes China, Korea, and Japan. In 1994, this species was accidentally observed in North America in the state of North Carolina (Mangum, Brooks, 1997), and then it was successively recorded in a number of other states. At present, it is spread widely across the United States, reaching Minnesota in the north, Maine in the northwest, Texas in the southwest, and Florida in the southeast, and also penetrated into Canada (Mangum, Brooks, 1997; Hinojosa-Díaz, 2008; Parys et al., 2015; Bila Dubaić, Lanner, 2021, etc.). In 2002, the species was first found in India (Sardar et al., 2021). In Europe, *M. sculpturalis* was first detected in 2008 in France (Vereecken, Barbier, 2009), and then it was recorded in 2010 in Italy (Quaranta et al., 2014) and Switzerland (Amiet, 2012). Further records of *M. sculpturalis* were made in 2015 in Germany (Westrich et al., 2015) and Hungary (Kovács, 2015), in 2016–2017 in Slovenia and Austria (Gogala, Zdravec, 2018), and in 2018 in Spain (Aguado et al., 2018) and the Crimea (Ivanov, Fateryga, 2019). Currently, the extreme points of distribution of the species in Europe are the central regions of Germany in the north, the Crimean Peninsula in the east, the island of Mallorca in the south, and the Occitania region (France) in the west (Bila Dubaić, Lanner, 2021).

The bee *M. sculpturalis* is one of the largest species of megachilid bees. Females can reach a body length of more than 25 mm, which is about twice the size of a honey bee. The head and the metasoma are covered with sparse black setae, while the mesosoma is covered with dense bright brick pubescence (Figs 1 and 2 a, b).

¹ This article was originally published in Russian as a conference paper in *Sovremennyye dostizheniya v oblasti apidologii [Modern achievements in the field of apidology]: collection of articles of the 1st International Scientific and Practical Conference (Ufa, 24 June, 2021)*. Ufa: M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University, 2021, pp. 16–23 and translated by the authors.

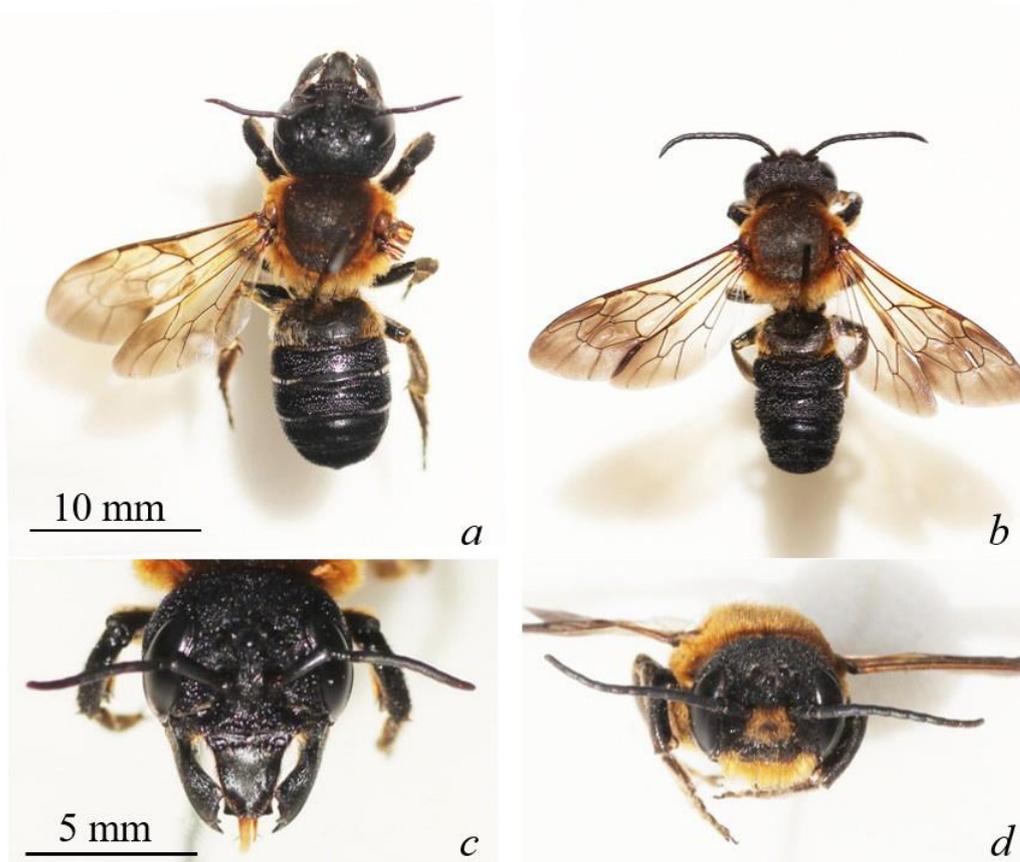


Fig. 1. The giant resin bee *Megachile sculpturalis*: female (a), male (b), female head (c), male head (d)

In addition to its large size and typical color pattern, *M. sculpturalis* differs from other (native) megachilid bees by relatively long mandibles (both in females and males) and characteristic pubescence of the facial part of the head in males: the setae on the edge of the clypeus form a yellowish band resembling a smile or mustache (Fig. 1 d).

The bee *M. sculpturalis* uses various cavities for nest construction, preferring abandoned nests of carpenter bees (Hymenoptera: Apidae: *Xylocopa*). Apparently, this feature contributed to disperse of *M. sculpturalis* to other continents along with timber. North Carolina, the site of the first discovery of the species in America, is known for mass production of wooden furniture. It is assumed that this species has expanded its native range using maritime trade routes (Le Féon et al., 2018). *Megachile sculpturalis* builds cells of its nests mainly of resin (therefore, the species was named “giant resin bee”). It also uses mud and sawdust for sealing the cells (Hinojosa-Díaz et al., 2005; Quaranta et al., 2014; Westrich et al., 2015).

The bee *M. sculpturalis* was recorded at more than 25 species of forage plants (Quaranta et al., 2014, etc.); however, three species were confirmed to be the main pollen sources in Europe: *Ligustrum* sp. (Oleaceae) and *Castanea* sp. (Fagaceae) in Italy (Quaranta et al., 2014) and *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott (Fabaceae) in Germany (Westrich et al., 2015). Researchers also highlight that the studied species prefers flowers of *Lavandula* spp. (Lamiaceae) and *Wisteria* spp. (Fabaceae) (Guariento et al., 2019; Ruzzier et al., 2020).

MATERIAL AND METHODS

The first nest of *M. sculpturalis* was found in a trap nest in September 2018 on the southern outskirts of Simferopol. The nest was built in a reed cane of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. (Poaceae) and it contained a single cell with a prepupa, the development of which ended in

death the following year. However, in early September 2019, the first nesting females of *M. sculpturalis* were found in Simferopol. There were seven females finishing the nesting season in a “bee hotel” located on an inset balcony on the fifth floor of a building of the Taurida Academy of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University (Fig. 2 c).



Fig. 2. Bees *Megachile sculpturalis* and constructions in which bees of this species nested
a – a female on an inflorescence of *Carduus acanthoides* L.; b – a male waiting for a female to emerge from the mother nest; c – a part of the “bee hotel” where the nesting females were observed for the first time in 2019; d – experimental Fabre’s hive inhabited by bees in 2020 and 2021.

The building was also located on the southern outskirts of Simferopol and was surrounded by single-storey residential buildings in the private sector with plots of land. Different species of angiosperm and coniferous trees including several trees of *Styphnolobium japonicum* grew on the territory of the university campus. Moreover, the botanical garden of the Crimean Federal University with a variety of vegetation was located in the immediate vicinity of the university building. The “bee hotel” (Fig. 2 c) was made up of bundles of segments of reed canes and twisted paper tubes.

The “bee hotel” was situated there since 1988. Initially, nests of several bee species were placed into the “hotel”. These nests were obtained from trap nests located all over Crimea (Ivanov et al., 2019). Some species of bees being placed into the “hotel” inhabited it and continued to nest there in subsequent years: *Osmia bicornis* (Linnaeus, 1758), *O. cornuta* (Latreille, 1805), *O. bidentata* Morawitz, 1876, *Hoplitis manicata* Morice, 1901, and *Heriades crenulata* Nylander, 1856. Nesting of other bee species was sporadic, for instance, *Hylaeus* spp., *Osmia caerulea* (Linnaeus, 1758), *Megachile rotundata* (Fabricius, 1787), *M. maritima* (Kirby, 1802), *Anthidium manicatum* (Linnaeus, 1758), and *Xylocopa valga* Gerstacker, 1872 (Ivanov et al., 2017). Taking into consideration that *M. sculpturalis* has a tendency to nest in the nests of carpenter bees (*Xylocopa* spp.), it can be assumed that a large number of open nests provisioned by female bees *H. manicata*, *O. bidentata*, and *H. crenulata* was one of the cues attracting *M. sculpturalis* to a “hotel” in the first half of July (the period when resin bees search for a nesting site).

In 2020 and 2021, *M. sculpturalis* bees were transferred to one and two new localities, respectively, by planting mother nests in Fabre’s hives. Fabre’s hives (Fig. 2 d) were made from a cardboard boxes filled with segments of hollow reed canes.

The trophic preferences of bees were studied during the examination of pollen taken from the metasomal scopa of bees arriving to the hive with pollen and nectar (Ivanov, Menzatova, 2016).

RESULTS AND DISCUSSION

In 2021, the total number of nesting females of *M. sculpturalis* in three localities was 86; i. e., every season there was an increase in the number of females in individual hives by two to three times.

In 2021, we observed emergence of bees from 34 mother nests located in one of the hives. Emergence from the nests began on July 6 and lasted until July 23. During the first five days, only males emerged; the first females began to emerge from the sixth day. After leaving the mother nests male progeny were constantly seen near the hives, patrolling the reed canes and being involved in fights chasing each other. The characteristic features of male behavior of this species were approaching each other in flight, hovering in the air and further joint getting high in the air in a “face to face” position. As a rule, at a height of 3–4 meters, one of the males gave way to the competitor and retreated. When females began to emerge from their nests, the behavior of males changed. One of them (usually the largest) occupied a position directly at the exit from the nest (Fig. 2 b) and did not leave this place until the female emerged from the nest. When other males approached him, he began to vibrate his wings actively, and this was enough for competitors to fly away. Not a single female (out of 16 tracked) managed to leave the nest and fly away alone from the hive. The male waiting for her courted her, the pair fell to the ground in front of the hive and, despite the attacks of other males, it usually managed to copulate successfully.

On the same day after the emergence from the mother nest, the females returned to the hive and stood for the night in the mother nest. Females demonstrated exceptional attraction to the nest, arranging a struggle for settlement. Some of the females, who did not find suitable cavities near the mother nest, examined the nearest space. If there were several empty hives, the females chose one of them, tending to nest jointly.

When females nested in Fabre’s hives, they chose cavities in a wide range of diameters: from 6 to 12 mm, showing no particular preference for cavities of any certain diameter. There was also no preference for cavities made of any certain material: reed canes, paper tubes, or borings drilled in wood.

At the same time, females occupied all empty nests of carpenter bees in several pieces of wood located next to the hives.



Fig. 3. Structure of *Megachile sculpturalis* nests

a – a nest consisting of five cells built in a paper tube; arrows show the layers of partitions between the cells made of mud; *b, c* – one-cell and five-cell nests built in segments of reed canes; *d* – a blockage of loose debris in a vestibule; *e, f* – nest cells containing eggs and larvae of different ages.

The dissection of 27 fully constructed and sealed nests showed that the number of cells in them could vary from 1 to 12. Partitions can be made of pure resin or consist of several layers – one layer of resin, a layer of mud and the second layer of resin (Fig. 3*a*). In this case, the partition closing the last cell consisted, as a rule, of only two layers: resin and mud.

A continuous row of cells in the nest started from the bottom of the cavity and ended with an empty space, so-called nest vestibule. The end of the vestibule closest to the exit was filled with

pieces of various materials, which were not fastened together in any way and formed a kind of blockage. In Fig. 3 b, the blockage is shifted to the last cell. This shift, apparently, occurred during the dissection of the cane. Bees collected material for the blockage around the hive or in the reed canes of the hive itself. These could be sawdust, lumps of soil, pebbles, fallen and dried flowers, and even dry corpses of insects. The closing mud plug of the nest was the heaviest and the thickest, its surface was extremely uneven from the side of the vestibule, though it was even and carefully smoothed from the outside.

The pollen loaf, as a rule, filled half the volume of the cell. It had thick consistency, it held its shape well, its surface, facing the empty space of the cell, was almost flat or slightly concave. The egg with the posterior end was slightly immersed in the mass of the pollen loaf and tilted relative to its surface at an angle close to 45° (Fig. 3 e). During feeding, larvae occupied the position in the cell shown in Fig. 3 f.

Observations on *M. sculpturalis* females at flowers at the hive sites proved that they visited at least five plant species: *Ballota nigra* L. (Lamiaceae), *Carduus acanthoides* L., *Inula helenium* L. (both Asteraceae), *Eryngium campestre* L. (Apiaceae), and *Styphnolobium japonicum*; however, microscopic examination of pollen taken from the metasomal scopa of 27 females during the period of active provisioning showed the presence of pollen of only one species, *S. japonicum* (it was previously identified incorrectly as *B. nigra* by Ivanov, Fateryga, 2019).

CONCLUSION

Our studies emphasize that *M. sculpturalis* possesses a number of peculiar morphological and ethological features not typical of the native species. Further studies of *M. sculpturalis* in the Crimea can be devoted to the study of its trophic relationships, foraging activity, and some aspects of nesting behavior, mechanisms of regulating the sex ratio in the progeny, and the relationships between females in aggregation settling in Fabre's hives. Apparently, the eastward dispersal of this species will continue.

The work of A. V. Fateryga was a part of the State research project No. 121032300023-7 of the A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS.

References

- Aguado O., Hernández-Castellano C., Bassols E., Miralles M., Navarro D., Stefanescu C., Vicens N. *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith, 1853 (Apoidea: Megachilidae): a new exotic species in the Iberian Peninsula, and some notes about its biology // Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural. – 2018. – Vol. 82. – P. 157–162.
- Amiet F. Die Blattschneiderbiene *Megachile sculpturalis* Smith, 1853 (Hymenoptera: Apidae) nun auch in der Schweiz // Entomo Helvetica. – 2012. – Bd. 5. – P. 157–159.
- Bila Dubaić J., Lanner J. *Megachile sculpturalis* (Hymenoptera: Megachilidae): a valuable study organism for invasive pollinators and the role of beekeepers in ongoing monitoring programs // Bee World. – 2021. – Vol. 98, N 3. – P. 78–82. – <https://doi.org/10.1080/0005772X.2021.1940580>
- Gogala A., Zadavec B. First record of *Megachile sculpturalis* Smith in Slovenia (Hymenoptera: Megachilidae) // Acta Entomologica Slovenica. – 2018. – Vol. 26, N 1. – P. 79–81.
- Guariento E., Lanner J., Staggl M. A., Kranebitter P. *Megachile sculpturalis* (Smith, 1853) (Hymenoptera: Megachilidae), the giant resin bee new to South Tyrol with a newly described plant species interaction // Gredleriana. – 2019. – Vol. 19. – P. 209–215. – <https://doi.org/10.5281/zenodo.3565365>
- Hinojosa-Díaz I. A. The giant resin bee making its way west: first record in Kansas (Hymenoptera: Megachilidae) // ZooKeys. – 2008. – Vol. 1. – P. 67–71. – <https://doi.org/10.3897/zookeys.1.17>
- Hinojosa-Díaz I. A., Yáñez-Ordóñez O., Chen G., Peterson A. T., Engel M. S. The North American invasion of the giant resin bee (Hymenoptera: Megachilidae) // Journal of Hymenoptera Research. – 2005. – Vol. 14, N 1. – P. 69–77.
- Ivanov S. P., Fateryga A. V. First record of the invasive giant resin bee *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith, 1853 (Hymenoptera: Megachilidae) in the Crimea // Far Eastern Entomologist. – 2019. – N 395. – P. 7–13. – <https://doi.org/10.25221/fee.395.2>
- Ivanov S. P., Fateryga A. V., Zhidkov V. Yu. Aculeate Hymenoptera (Hymenoptera, Aculeata) inhabiting trap nests in Crimea // Entomological Review. – 2019. – Vol. 99, N 2. – P. 163–179. – <https://doi.org/10.1134/S0013873819020040>
- Ivanov S. P., Menzatova E. A. Method of study of megachilid wild bees trophic relations (Hymenoptera, Megachilidae) based on the analysis of the pollen composition from nest cells and scopa of females // Ekosistemy. – 2016. – Iss. 5. – P. 66–86. [In Russian]

Ivanov S. P., Yanenko B. V., Menzatova E. A. Comparative study of nesting biology of four wild bees species (Hymenoptera, Megachilidae) in the composition of artificial aggregation // *Ekosistemy*. – 2017. – Iss. 12. – P. 35–44. [In Russian]

Kovács T. *Megachile sculpturalis* Smith, 1853 in Hungary (Hymenoptera, Megachilidae) // *Folia Historico-Naturalia Musei Matraensis*. – 2015. – Vol. 39. – P. 73–76.

Le Féon V., Aubert M., Genoud D., Andrieu-Ponel V., Westrich P., Geslin B. Range expansion of the Asian native giant resin bee *Megachile sculpturalis* (Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae) in France // *Ecology and Evolution*. – 2018. – Vol. 8, N 3. – P. 1534–1542. – <https://doi.org/10.1002/ece3.3758>

Mangum W. A., Brooks R. W. First records of *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith (Hymenoptera: Megachilidae) in the Continental United States // *Journal of the Kansas Entomological Society*. – 1997. – Vol. 70, N 2. – P. 140–142.

Parys K., Tripodi A., Sampson B. The giant resin bee, *Megachile sculpturalis* Smith: new distributional records for the mid- and gulf-south USA // *Biodiversity Data Journal*. – 2015. – Vol. 3. – Article e6733. – <https://doi.org/10.3897/BDJ.3.e6733>

Quaranta M., Sommaruga A., Balzarini P., Felicioli A. A new species for the bee fauna of Italy: *Megachile sculpturalis* continues its colonization of Europe // *Bulletin of Insectology*. – 2014. – Vol. 67, N 2. – P. 287–293.

Ruzzier E., Menchetti M., Bortolotti L., Selis M., Monterastelli E., Forbicioni L. Updated distribution of the invasive *Megachile sculpturalis* (Hymenoptera: Megachilidae) in Italy and its first record on a Mediterranean island // *Biodiversity Data Journal*. – 2020. – Vol. 8. – Article e57783. – <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e57783>

Sardar S., Rameshkumar A., Kazmi S. I. First report of *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith, 1853 (Apoidea: Megachilidae) from India // *Journal of Insect Biodiversity*. – 2021. – Vol. 23, N 2. – P. 43–49. – <https://doi.org/10.12976/jib/2021.23.2.2>

Vereecken N. J., Barbier E. Premières données sur la présence de l'abeille asiatique *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith (Hymenoptera, Megachilidae) en Europe // *Osmia*. – 2009. – N 3. – P. 4–6.

Westrich P., Knapp A., Berney I. *Megachile sculpturalis* Smith 1853 (Hymenoptera, Apidae), a new species for the bee fauna of Germany, now north of the Alps // *Eucera*. – 2015. – N 9. – P. 3–10.

Иванов С. П., Фатерыга А. В., Жидков В. Ю., Пивоваренко Н. А. Гигантская смоляная пчела *Megachile (Callomegachile) sculpturalis* Smith, 1853 (Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae) – инвазивный вид в Крыму (заметки о биологии) // *Экосистемы*. 2021. Вып. 58. С. 122–128.

Новый инвазивный вид пчел *Megachile sculpturalis* Smith, 1853 был обнаружен на гнездовании в Симферополе (Крым) в 2019 г. Пчелы, в количестве не менее 7 самок, заселили «гостиницу для пчел», расположенный на пятом этаже здания на окраине города. В 2020 и 2021 гг. самки вместе с материнскими гнездами были переселены в ульи Фабра, которые были установлены в двух новых пунктах Симферополя. Всего в трех пунктах Симферополя в 2021 г. было зарегистрировано 86 гнездящихся самок. Число гнездящихся в ульях самок каждый следующий год увеличивалось в 2–3 раза. Самки устраивали гнезда в трубках из бумаги и в тростниковых стеблях. Одно гнездо могло содержать от 1 до 12 ячеек. Ячейки были построены из смолы хвойных деревьев с добавлением опилок и замазки из влажной земли. Самки посещали цветки пяти разных видов растений; однако они приносили в свои гнезда только пыльцу и нектар, взятые с цветков *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott.

Ключевые слова: гигантская смоляная пчела, гнездование, «гостиница для пчел», *Styphnolobium japonicum*.

Received 15.11.21

Accepted 15.12.21

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|------------|
| Просеков А. Ю. Влияние затопления территорий при строительстве водохранилищ на сохранность их биологических ресурсов..... | 5 |
| Сафонов А. И., Глухов А. З. Фитомониторинг в техногенно трансформированной среде: методология и практика | 16 |
| Шик Н. В., Бондарева Л. В., Мильчакова Н. А., Александров В. В. Природоохранная и историко-культурная ценность перспективного памятника природы Севастополя «Холм Канробера» | 29 |
| Новикова Л. А., Васюков В. М., Горбушина Т. В., Пчелинцева Т. И., Бибасова Г. З. Динамика галофитной растительности памятника природы «Даниловская солонцовая поляна» (Малосердобинский район, Пензенская область)..... | 44 |
| Пристова Т. А. Динамика поступления надземного опада древесных растений в березово-еловом молодняке средней тайги Республики Коми | 55 |
| Гамм Т. А., Гривко Е. В. Условия формирования гидрохимических показателей подземных и поверхностных вод при добыче колчеданных руд открытым способом..... | 62 |
| Гусев А. П., Шпилевская Н. С. Золотарник канадский (<i>Solidago canadensis</i>) в лесных насаждениях Белорусского Полесья | 70 |
| Сытников Д. М., Шейко Е. А. Продуктивность симбиоза при инокуляции сои различными препаративными формами ризобий и их Tn5-мутантами..... | 76 |
| Чекалов В. П. К вопросу о вкладе перифитонной микрофлоры в совместное потребление кислорода при измерении скорости дыхания водных животных | 82 |
| Цыгикало И. С., Попов И. Б., Хомицкий Е. Е. Божьи коровки (Coleoptera: Coccinellidae) города Краснодара и их роль в биологическом подавлении фитофагов | 88 |
| Силкин Ю. А., Василец В. Е., Силкина Е. Н., Силкин М. Ю. Размерно-весовые характеристики и величина соматических индексов молоди луфаря <i>Pomatus saltatrix</i> , отловленной у берегов Карадага (Юго-Восточный Крым) в период вспышки численности в 2018 году..... | 97 |
| Хайруллина Л. Б., Мамаева Н. Л., Филиповская О. И. Динамика системы образования в области экологической безопасности | 108 |
| Семенова Е. Ф., Карасева Е. В., Назаров В. В., Маркелова Н. Н., Курдюков Е. Е. Биоконверсия цветочно-травянистых отходов эфирномасличного производства штаммами <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) и <i>Agaricus bisporus</i> (Lge.) | 115 |
| Иванов С. П., Фатерыга А. В., Жидков В. Ю., Пивоваренко Н. А. Гигантская смоляная пчела <i>Megachile (Callomegachile) sculpturalis</i> Smith, 1853 (Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae) – инвазивный вид в Крыму (заметки о биологии)..... | 122 |

CONTENT

| | |
|---|------------|
| Prosekov A. Yu. Effect of artificial floods during reservoir construction on the biological resources of the flooded area | 5 |
| Safonov A. I., Glukhov A. Z. Phytomonitoring in a technologically transformed environment: methodology and practice..... | 16 |
| Shik N. V., Bondareva L. V., Milchakova N. A., Alexandrov V. V. Environmental, historical and cultural value of the Canrobert Hill, the perspective natural monument of Sevastopol | 29 |
| Novikova L. A., Vasjukov V. M., Gorbushina T. V., Pchelintseva T. I., Bibasova G. Z. Dynamics of halophytic vegetation of the «Danilovskaya Solontsovaya Polyana» natural monument (Maloya Serdoba district, Penza region) | 44 |
| Pristova T. A. Dynamics of aboveground litterfall of trees in birch-spruce young forest of the middle taiga of the Komi Republic..... | 55 |
| Gamm T.A., Grivko E.V. Conditions for formation of hydrochemical indicators of ground and surface water in open cast pyrite ore mining | 62 |
| Gusev A. P., Shpilevskaya N. S. <i>Solidago canadensis</i> in forest ecosystems of Belarusian Polesie..... | 70 |
| Sytnikov D. M., Sheyko E. A. Productivity of symbiosis upon inoculation of soybeans with various preparative forms of rhizobia and their Tn5 mutants..... | 76 |
| Chekalov V. P. Contribution of periphyton microflora to joint oxygen consumption in process of measuring the respiration rate of aquatic animals | 82 |
| Tsygikalo I. S. , Popov I. B. , Khomitsky E. E. Ladybugs (Coleoptera: Coccinellidae) in Krasnodar and their role in biological suppression of phytophages | 88 |
| Silkin Yu. A., Vasilets V. E., Silkina E. N., Silkin M. Yu. Size and weight characteristics and value of somatic indices of juvenile bluefish (<i>Pomatus saltatrix</i>) captured off the south-eastern coast of Crimea during the population “outbreak” in 2018 | 97 |
| Khairullina L. B., Mamaeva N. L., Filipovskaya O. I. Dynamics of the educational system in environmental safety..... | 108 |
| Semenova E. F., Karaseva E. V., Nazarov V. V., Markelova N. N., Kurdyukov E. E. Bioconversion of flower-herbaceous waste of essential oil production by strains <i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) and <i>Agaricus bisporus</i> (Lge.)..... | 115 |
| Ivanov S. P., Fateryga A. V., Zhidkov V. Yu., Pivovarenko N. A. Giant resin bee <i>Megachile (Callomegachile) sculpturalis</i> Smith, 1853 (Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae), an invasive species in the Crimea (notes on its biology)..... | 122 |