

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Коми научный центр
Уральского отделения Российской академии наук»
Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

XXXI ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ (с элементами научной школы)

Посвященная 300-летию Российской академии наук,
80-летию Коми научного центра Уральского отделения РАН,
80-летию со дня рождения А. И. Таскаева



А. И. Таскаев



80 лет со дня рождения

18–22 марта 2024 г.
Сыктывкар

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Коми научный центр Уральского отделения
Российской академии наук»
Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

XXXI Всероссийская молодежная научная конференция
(с элементами научной школы),
посвященная 300-летию Российской академии наук,
80-летию Коми научного центра Уральского отделения РАН,
80-летию со дня рождения А. И. Таскаева

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

Материалы докладов

18–22 марта 2024 г.
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Сыктывкар
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
2024

УДК 574/577 (063)

ББК 28

А 43

Редактор: к.б.н. В. В. Старцев

А 43 Актуальные проблемы биологии и экологии : XXXI Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы), посвященная 300-летию Российской академии наук, 80-летию Коми научного центра Уральского отделения РАН, 80-летию со дня рождения А. И. Таскаева : материалы докладов : 8–22 марта 2024 г., Сыктывкар, Республика Коми, Россия / ред. В. В. Старцев. – Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2024. – 285 с.

ISBN 978-5-6050144-6-1

В сборнике представлены материалы докладов XXXI Всероссийской молодежной научной конференции, проведенной Институтом биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Рассмотрены актуальные вопросы изучения и восстановления биоразнообразия животного и растительного мира, структурно-функциональной организации и экологии биологических систем, охраны и рационального использования биологических ресурсов. Обсуждены лесобиологические проблемы, проблемы почвоведения, физиологии, биохимии и биотехнологии растений, радиобиологии, продолжительности жизни и генетики.

УДК 574/577 (063)

ББК 28

ISBN 978-5-6050144-6-1

DOI: 10.5281/zenodo.13329201

© ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2024

ПРЕДИСЛОВИЕ

XXXI Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила на базе Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) с 18 по 22 марта 2024 г. В этом году научное мероприятие посвящено нескольким важным датам – 300-летию Российской академии наук, 80-летию Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук и 80-летию со дня рождения А. И. Таскаева, возглавлявшему ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН с 1988 по 2010 гг.

Основная цель конференции – создание условий для общения молодых учёных, обмена опытом с коллегами, поиска новых идей, предоставления начинающим исследователям возможности обсудить результаты своих научных работ в кругу квалифицированных специалистов. Организатором выступил Совет молодых ученых ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН при поддержке администрации Института биологии.

В конференции приняли участие аспиранты, студенты, специалисты, научные сотрудники из 44 научных организаций и высших учебных заведений, участвующие в научно-исследовательской работе в области биологии и экологии. Заседания проходили в очном формате с возможностью онлайн участия.

Традиционно научная программа конференции включала 5 секций: «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира» (20 докладов), «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира» (11 докладов), «Структурно-функциональная организация и антропогенная трансформация экосистем» (26 докладов), «Радиационная биология, генетика. Влияние факторов физико-химической природы на организм» (14 докладов), «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов» (25 докладов). На конференции прозвучал 101 доклад, в том числе пять пленарных. Кроме того, был организован мастер-класс на тему «Обзор инструментов на основе искусственного интеллекта для решения общенаучных задач» (н.с. ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, к.б.н. А. А. Кудрин).

На пленарной сессии с докладами выступили: доцент Института биологии и биомедицины ННГУ им. Н. И. Лобачевского, к.б.н. Ирина Владимировна Балалаева (доклад на тему «Множество способов умереть: как тип клеточной гибели определяет эф-

фективность лечения опухолей»), н.с. ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, к.б.н. Мария Ивановна Василевич («Мониторинг химического состава снежного покрова для оценки динамики аэротехногенного воздействия промышленных предприятий»), с.н.с. ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО, к.б.н. Алла Анатольевна Дитц («Подходы к определению разнообразия почвенных беспозвоночных на вырубках»), н.с. ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО, к.б.н. Анна Викторовна Рыбак («Последствия радиоактивного загрязнения почвы для дождевых червей: результаты полевых и лабораторных экспериментов»), м.н.с. ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО, к.б.н. Александр Владимирович Гогонин («Консорциум микроводорослей для очистки сточных вод лесопромышленного комплекса»).

Всего в работе конференции приняли участие 284 исследователя с соавторами: 27 докладов представили студенты, 37 – аспиранты, 37 – научные сотрудники и молодые специалисты. Среди докладчиков 8 кандидатов наук разных специальностей. Большое число докладов представили молодые ученые, аспиранты, студенты и специалисты из научных, образовательных и иных учреждений Сыктывкара (32 доклада).

Участники представляли широкий спектр научных, образовательных и других организаций: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (г. Сыктывкар), ФБГОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина» (г. Сыктывкар), ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» (г. Барнаул), Южно-Сибирский ботанический сад (г. Барнаул), АНОО «Школа им. А. М. Горчакова» (г. Павловск), Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта (г. Калининград), Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (г. Тюмень), Высшая школа живых систем (г. Калининград), ОНК «Институт медицины и наук о жизни (МЕДБИО)» (г. Калининград), ГБУ Свердловской области Природный парк «Оленьи ручьи» (п. Бажуково), ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина» (г. Екатеринбург), ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет» (г. Иваново), Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (г. Петрозаводск), Институт биологии внутренних вод им.

И. Д. Папанина РАН (п. Борок), Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова (г. Ярославль), Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (г. Петрозаводск), Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук (г. Москва), Институт экологии и географии Сибирского федерального университета (г. Красноярск), Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (г. Казань), ФБГОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (г. Калининград), Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (г. Москва), Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (г. Апатиты), ФБГОУ ВО «Российский государственный аграрный университет» — МСХА им. К. А. Тимирязева (г. Москва), ФБГОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» (г. Санкт-Петербург), ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск), БУ ВО «Сургутский государственный университет» (г. Сургут), ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск), ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (г. Екатеринбург), Центрлеспроект (филиал ФГУП «Рослесинфорг») (г. Ивантеевка), ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (г. Волгоград), ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет» (г. Ханты-Мансийск), ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского» (г. Саратов), ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева» (г. Москва), ФГБУ «Печоро-Илычский государственный природный биосферный заповедник» (п. Якша), ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук» (г. Екатеринбург), ФГБУН «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук» (г. Москва), ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (г. Архангельск), ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет» (г. Майкоп), ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет» (г. Петрозаводск), ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена» (г. Санкт-Петербург), ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет» (г. Тюмень), ФГБОУ

ВО «Уфимский университет науки и технологии» (г. Уфа), ФГБУН «Ботанический институт им. В. Л. Комарова Российской академии наук» (г. Санкт-Петербург), ФГБУН «Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук» (г. Екатеринбург), ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН) (г. Петрозаводск).

Оргкомитет конференции, оценочные комиссии и участники секций подчеркнули высокий научный уровень и практическую направленность многих работ, а также расширение спектра исследований с использованием специализированного оборудования и современных методик. Следует отметить хорошо зарекомендовавший себя смешанный формат проведения конференции, благодаря чему было заслушано 45 докладов, представленных участниками в онлайн формате. Оценочной комиссией отмечены актуальность обсуждаемых проблем, значимость полученных научных результатов, высокий уровень организации и проведения конференции.

Сопредседатель организационного комитета,
председатель Совета молодых ученых
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, к.б.н.

В. В. Старцев

Секция 1

ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

ВИДОВОЙ СОСТАВ ДРЕВЕСНЫХ ИНТРОДУЦЕНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОМОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ

Л. Е. Барсуков*, **Т. Г. Махрова****, **А. Е. Кухта*****

*Центрлеспроект (филиал ФГУП «Рослесинфорг»)

E-mail: 151loin9@mail.ru

**Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана

E-mail: mathilda2604@mail.ru

***Институт глобального климата и экологии

им. академика Ю. А. Израэля

E-mail: anna_koukhata@mail.ru

Наблюдаемое потепление климата на большей части нашей планеты приводит к изменениям в составе, структуре и функционировании растительных экосистем, особенно в тех областях, где тепло является лимитирующим фактором существования растительности (Лежнев, 2023; Коротков, 2023). Беломорская биологическая станция Московского государственного университета (ББС МГУ) расположена в поселке Приморский Лоухского района Республики Карелия на берегу Кандалакшского залива Белого моря в непосредственной близости от Полярного круга. Климат умеренно холодный с растянутыми сроками весны и осени, прохладным влажным летом и коротким вегетационным периодом. Леса во флористическом отношении однообразны, преобладают сосняки, реже – ельники. На территории станции есть ботанический сад, основанный в 1984 году силами сотрудников и студентов МГУ, его площадь менее 1 га, коллекция включает около 200 видов растений, из них 34 вида древесных (Беломорская биологическая станция, 2019).

Целью проведенного исследования было выявление и обследование древесных интродуцентов на территории ББС МГУ, включающей как территорию ботанического сада, так и территорию собственнo поселка Приморский. Всего было обнаружено 27 видов и сортов древесных и кустарниковых растений, не представленных в местной флоре. Перспективность интродукции исследуемых растений оценивалась по методике Главного Ботанического сада РАН (Древесные растения, 2005). Результаты оценки представлены в таблице.

Таблица

Перечень исследуемых интродуцентов

№ п/п	Вид	Количество экземпляров	Жизненная форма	Группа перспективности
1	<i>Lonicera caerulea</i> L.	2	кустарник	3
2	<i>Lonicera tatarica</i> L.	2	кустарник	2
3	<i>Juniperus scopulorum</i> Sarg. 'Glauca'	1	кустарник	3
4	<i>Juniperus squamata</i> Lamb. 'Holger'	1	кустарник	3
5	<i>Juniperus sabina</i> L.	1	кустарник	3
6	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Aurea'	1	дерево	3
7	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Argenteovariegata'	1	дерево	3
8	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Globosa'	8	кустарник	3
9	<i>Rhododendron catawbiense</i> Michx.	3	кустарник	3
10	<i>Syringa josikaea</i> Jacq. f. ex Rchb.	2	кустарник	2
11	<i>Syringa vulgaris</i> L.	1	кустарник	3
12	<i>Abies sibirica</i> Ledeb.	1	дерево	2
13	<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	23	дерево	1
14	<i>Picea pungens</i> Engelm.	1	дерево	2
15	<i>Pinus koraiensis</i> Siebold & Zucc.	6	дерево	3
16	<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.	2	дерево	3
17	<i>Pinus pumila</i> (Pall.) Regel.	1	кустарник	3
18	<i>Dasiphora fruticosa</i> (L.) O.Schwarz. 'Abbotswood'	1	кустарник	2
19	<i>Dasiphora fruticosa</i> (L.) O.Schwarz. 'Pink Queen'	1	кустарник	2
20	<i>Physocarpus opulifolius</i> (Torr.) Coult.	3	кустарник	2
21	<i>Prunus divaricata</i> Ledeb. 'Nigra'	2	кустарник	3
22	<i>Sorbaria sorbifolia</i> (L.) A.Braun	5	кустарник	3
23	<i>Spiraea bumalda</i> Burv.	1	кустарник	2
24	<i>Spiraea douglasii</i> Hook.	1	кустарник	2
25	<i>Spiraea japonica</i> L.	1	кустарник	2
26	<i>Spiraea salicifolia</i> L.	1	кустарник	2
27	<i>Berberis amurensis</i> Rupr.	1	кустарник	2

В соответствии с древокультурным районированием А.И. Колесникова (Колесников, 1974), местонахождение ББС МГУ относится ко второму древокультурному району – и целый ряд интродуцентов (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc., *Berberis amurensis* Rupr., *Prunus divaricata* Ledeb, ‘Nigra’ и т.д.) не были рекомендованы для выращивания в этих климатических условиях. Тем не менее, абсолютно все обследованные растения сохраняют присущую им в природе жизненную форму. Большинство их относится ко второй и третьей группе перспективности, при этом занижает категорию перспективности недостаточно развитая генеративная сфера; к первой группе перспективности относится только *Larix sibirica* Ledeb., успешно возобновляющаяся семенным путем. Однако, при интродукции растений, успешно размножаемых вегетативно, полноценное вызревание семян не имеет первоочередного значения. Более того, вид, успешно возобновляющийся семенным путем в условиях интродукции, может оказаться потенциально инвазивным.

Проведенные исследования вносят свой вклад в изучение реакции флористического разнообразия на климатические изменения и будут продолжены, в том числе, и на других интродукционных пунктах.

ЛИТЕРАТУРА

Беломорская биологическая станция им. Н. А. Перцова. О био-станции. URL: <https://wsbs-msu.ru/about-station/> (дата обращения 20.12.2019)

Древесные растения Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина РАН: 60 лет интродукции / отв. ред. А. С. Демидов. – М.: Наука, 2005. – 586 с.

Лежнев, Д. В. Строение сосновых фитоценозов в Московском регионе под влиянием климатических трансформаций / Д. В. Лежнев // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг. – 2023. – № 9. – С. 63–73.

Колесников, А. И. Декоративная дендрология / А. И. Колесников. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 704 с.

Коротков, С. А. Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины / С. А. Коротков. – М.: АНО «ДОБЛЕСТЬ ЭПОХ», 2023. – 168 с.

ВОДОЁМЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ КАК МЕСТООБИТАНИЯ РЕДКИХ И ОХРАНЯЕМЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ

Ю. С. Виноградова*, **, Н. К. Конотоп*, **, Е. В. Чемерис*

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН

**Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

E-mail: ylia.vinogradova1997@yandex.ru

Республика Саха (Якутия) – самый крупный регион России, площадью 3103.2 тыс. км². Северное расположение и антициклоны определяют резко континентальный климат с низкими температурами зимой и высокими летом, малой облачностью и малым среднегодовым количеством осадков. Якутия находится в зоне многолетней мерзлоты, на большей части территории она имеет мощность от 20 м до 500–700 м. Разнообразные природные условия приводят к развитию неоднородного растительного покрова – от арктических пустынь до средней тайги (Кузнецова и др., 2010). Под Центральной Якутией (ЦЯ) понимается территория, охватывающая долины среднего течения р. Лена, участки средних и нижних течений рек Вилюй, Алдан, Амга, а также Лено-Вилюйское и Лено-Алданское междуречья (рис).

Работа основана на материале, собранном авторами в ходе исследований растительного покрова водных объектов ЦЯ летом 2014, 2015, 2022 и 2023 гг., данных гербариев МГУ (MW), ИБВВ РАН (IBIW), ИБПК СО РАН (SASY), базы данных GBIF (<https://doi.org/10.15468/dl.sdrv4u>) и литературных источников. Гербарные образцы хранятся в IBIW и SASY. На основании этих данных составлена картосхема зон концентрации редких водных видов в ЦЯ (рис.) в программе QGIS.

В долинах нижнего течения р. Амга, среднего течения р. Алдан и среднего течения р. Лена найдены водоёмы (рис.), в которых встречаются как теплолюбивые виды растений, не характерные для Якутии: *Hydrilla verticillata*, *Potamogeton maackianus*, *P. rutilus*, сравнительно недавно были обнаруженные здесь (Бобров и др., 2017; Bobrov et al., 2018), так и охраняемые виды *Nuphar pumila* и *Nymphaea tetragona* (Красная книга, 2017). *Hydrilla verticillata*, *Potamogeton maackianus*, *P. rutilus*, а также охраняемый *Carex pseudocyperus* на данной территории находятся в самой восточной части своего ареала. При наложении на тепловую карту зоны концентрации редких водных видов совпали с областями высоких среднегодовых температур и максимальных температур июля (рис.), а также с местами распространения слабольдистых и относительно льдистых отложений.

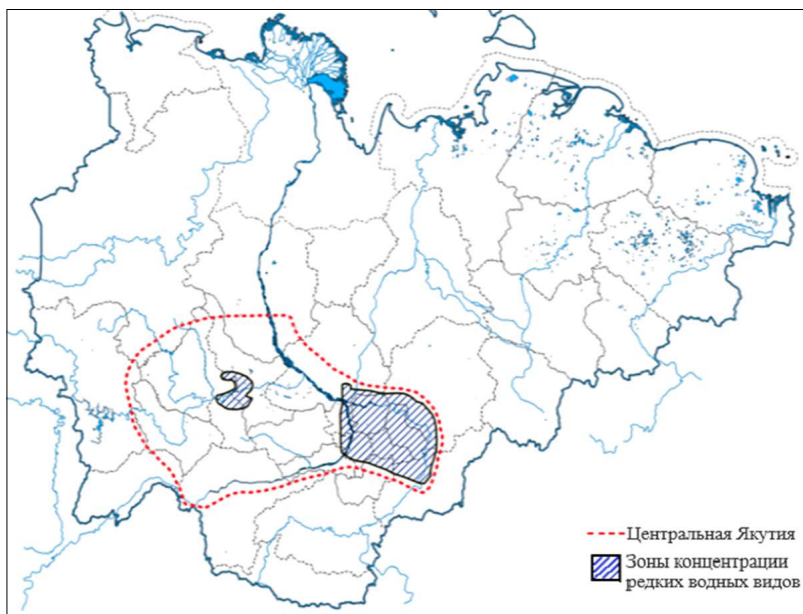


Рис. Картограмма зон концентрации редких водных видов растений в ЦЯ.

Hydrilla verticillata, *Potamogeton maackianus*, *P. rutilus* предпочитают чистые, преимущественно мезотрофные водоёмы, в основном встречаются в пойменных и старичных озёрах, с илесто-песчаным, илистым или торфяным грунтом, со слабominерализованной (до 300 мг/л) нейтральной или слабощелочной (рН 7–9.6) водой. Часто эти виды произрастают совместно.

Carex pseudocyperus обитает в эвтрофных условиях, растёт по топким берегам и сплавидам, старых зарастающих пойменных, старичных и аласных озёр.

Nuphar pumila и *Nymphaea tetragona* – редкие, охраняемые виды, для которых в последнее время отмечена тенденция сокращения численности (Красная книга..., 2017). *Nuphar pumila* обитает в зрелых пойменных, старичных и аласных озёрах, расположенных на высоких уровнях поймы или террасах, реже встречается в протоках и малых реках. Для местообитаний характерен песчано-илистый, илистый или илесто-торфяной грунт, слабominерализованная вода (90–370 мг/л), со слабощелочной и щелочной (рН 8.45–12.1) реакцией среды. *Nymphaea tetragona* преимущественно встречается в пойменных и старичных озёрах, в заливах и расширениях малых рек со спокойным течением, реже в протоках и аласных водоёмах, предпочитает поймы низкого уровня и острова, которые регулярно

промываются полыми водами. Вода в местообитаниях *Nymphaea tetragona* от нейтральной до слабощелочной (рН 7–9.6), слабоминерализованная (50–360 мг/л) (Чемерис и др., 2015).

Экологические особенности водоёмов, обеспечивающие успешное выживание редких видов в Центральной Якутии:

1. Микроклиматические особенности долин и междуречья обуславливают высокую теплообеспеченность территории, небольшие размеры водоёмов и мелководность, способствуют быстрому прогреванию воды в вегетационный период.

2. Расположение водоёмов в зоне таликов, где из-за постоянного обмена тепла между таликом и рекой поддерживается положительная температура воды, что препятствует промерзанию водоёма до дна и способствует выживанию диаспор.

3. Водоёмы расположены в зоне влияния паводков, их периодическое затопление и промывание сохраняет слабую минерализацию воды, в отличие от бессточных водоёмов ЦЯ.

4. Большинство озёр – это зрелые экосистемы со сформированной биотой, с мощным слоем органических отложений на дне (ил, торф, сапрпель), которые создают дополнительный теплоизолирующий слой. Из-за активных биологических процессов в таких водоёмах, образование льда осенью начинается позднее, а весеннее оттаивание – раньше, что удлиняет вегетационный период.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-24-00544.

ЛИТЕРАТУРА

Бобров, А. А. Новые для флоры Якутии *Elodea canadensis*, *Hydrilla verticillata* (*Hydrocharitaceae*) и *Potamogeton maackianus* (*Potamogetonaceae*) / А. А. Бобров, В. А. Филиппова, Е. Г. Николин, Е. В. Чемерис // Ботанический журнал. – 2015. – Т. 102. – № 2. – С. 222–231.

Кузнецова, Л. В. Флора Якутии: Географический и экологический аспекты / Л. В. Кузнецова, В. И. Захарова, Н. К. Сосина, А. А. Егорова, Е. В. Софронова и др. – Новосибирск: Наука, 2010. – 188 с.

Красная книга Республики Саха (Якутия): Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений / отв. ред. Н. С. Данилова. – М.: Реарт, 2017. – Т. 1: – 412 с.

Чемерис, Е. В. *Nymphaea tetragona* (*Nymphaeaceae*) в Центральной Якутии: распространение, экология, охрана / Е. В. Чемерис, Е. Г. Николин, В. А. Филиппова, А. А. Бобров // Ботанический журнал. – 2015 – Т. 100. – № 9. – С. 951–961.

Bobrov, A. A. European pondweed in East Siberia: evidence of *Potamogeton rutilus* (*Potamogetonaceae*) in Yakutia (Asian Russia) with evaluation of current distribution and conservation status / A. A. Bobrov, E. V. Chemeris, V. A. Filippova, S. Y. Maltseva // Phytotaxa. – 2018. – Vol. 333. – № 1. – P. 58–72.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА СЕМЯН ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД

Е. Л. Гричик, О. О. Жолобова

ФНЦ агроэкологии РАН

E-mail: grichik-e@vfanc.ru

E-mail: zholobova-o@vfanc.ru

Определение качества семян древесных пород является важным аспектом для обеспечения успешного питомниководства, лесовосстановления и сохранения лесных экосистем. Оценка качества семян имеет решающее значение в любой системе производства семян.

Традиционные методы определения качества семян не всегда могут выявить скрытые дефекты, микротрещины, повреждения зародыша или инфекции, наличие вредителей, которые могут повлиять на всхожесть и продуктивность растений. Ограничения традиционных методов оценки качества семян подчеркивают необходимость более современных и инновационных методов для выявления скрытых проблем, влияющих на развитие растений (Мусаев и др., 2021, Rahman et al., 2016).

Цифровая рентгенография является эффективным инструментом для оценки качества семян древесных пород. Метод позволяет визуализировать внутреннюю структуру семян, выявлять скрытые дефекты и прогнозировать их посевные качества без повреждений. Анализ различных характеристик качества семян включает: определение наличия и размер зародыша, определение повреждений насекомыми и наличие личинок или других вредителей, обнаружение пустот или воздушных карманов в семенах, которые могут указывать на повреждение или незрелость. Использование цифровой рентгенографии в программах лесовосстановления может способствовать повышению эффективности лесовосстановительных мероприятий и созданию устойчивых лесных экосистем (Роголева и др., 2022; Abud et al., 2018).

Исследования семян методом цифровой рентгенографии проводятся на базе лаборатории биотехнологий ФНЦ агроэкологии РАН. В качестве материала для исследований используются семена древесных и кустарниковых пород, перспективных в агролесомелиорации, защитном лесоразведении и озеленении. Практическое применение цифровой микрофокусной рентгенографии для оценки качества семян древесных и кустарниковых пород производится на аппаратно-программном комплексе передвижной рентгеновской установки ПРДУ (ЗАО

«ЭЛТЕХ-Мед», Россия). Отбор проб производится по ГОСТ 13056.1-67. Для удобства проведения рентгенографического анализа семена раскладываются на специальную карточку по 50 штук в определенном порядке. Параметры для рентгеновской съемки подбираются в зависимости от морфологических особенностей и размера семян: временная экспозиция 1–5 сек, коэффициент увеличения 1.3–8.3, напряжение 20–50 кВ. Полученные результаты подвергаются анализу, который направлен на выявление и подсчет дефективных и нормальных семян. Дополнительно с помощью программного обеспечения установки возможна обработка результатов исследования с помощью измерений линейных размеров объектов. Для увеличения точности анализа измерений используется программное обеспечение ImageJ (LOCI, Университет Висконсина).

По результатам цифровых снимков производится оценка качества семян, определяется наличие внутренних дефектов и аномалий: травмированность, отслоение семенной оболочки, скрытая заселенность вредителями, невыполненность и т.д. (рис.).

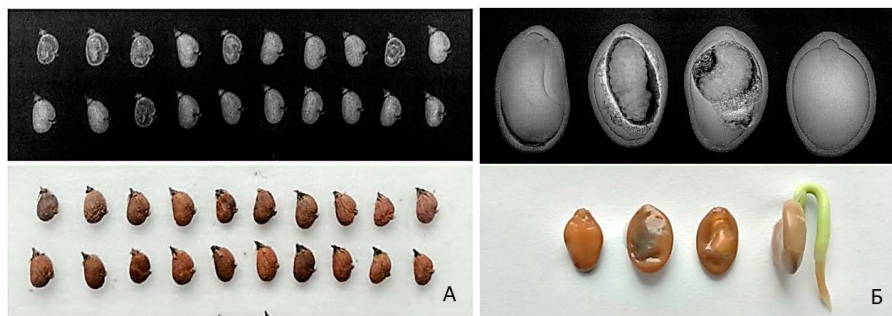


Рис. Примеры рентгенографических снимков.

А – семена *Cotinus coggygia* Scop.,

Б – рентгенограммы семян и проростки *Gleditsia triacanthos* L.

Рентгенографический анализ в комплексе с методом лабораторной всхожести позволяет изучить взаимосвязь внутренних дефектов семян на физиологическое состояние проростков. Семена проращиваются индивидуально в том же порядке, в котором выкладываются на специальные карточки для рентгенографического анализа. По полученным данным установлена связь между рентгеновскими характеристиками семян и их жизнеспособностью.

Цифровая рентгенография является ценным инструментом для анализа качества семян. Метод обеспечивает неинвазивный, точный и быстрый способ оценки различных характеристик, таких как целостность, повреждение насекомыми и др. Анализ

снимков позволяет выявить различные дефекты семян, такие как пустоты, щуплость, обезвоживание, трещины, повреждения насекомыми и механические повреждения и т.д. (Архипов, 2010)

Метод лабораторного проращивания в комплексе с методом цифровой рентгенографии позволяет отследить динамику развития семян с определенными дефектами. Например, семена с пустотами, внутренними повреждениями и трещинами имели более низкую всхожесть и энергию прорастания по сравнению с неповрежденными семенами.

В дальнейшем планируется продолжить исследования по применению микрофокусной рентгенографии для оценки качества семян видов древесных пород и сельскохозяйственных культур. Кроме того, планируется изучить влияние различных факторов, таких как условия хранения и обработки семян, на их рентгеновские характеристики и посевные качества.

Разработанная методика рентгенографического контроля семян является ценным инструментом для оценки их качества и прогнозирования полевой всхожести. Она позволяет повысить эффективность использования семян и способствует устойчивому развитию сельского и лесного хозяйства.

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100427-1 «Разработать научные основы сохранения и воспроизводства ценных генотипов древесных и кустарниковых растений в культуре in vitro».

ЛИТЕРАТУРА

- Архипов, М. В. Рентгенография растений при решении задач семеноведения и семеноводства / М. В. Архипов // Известия СПбГАУ. – 2010. – №19. – С. 36–40.
- Мусаев, Ф. Б. История и перспективы применения рентгенографии в семеноводстве и семеноведении / Ф. Б. Мусаев, С. Л. Белецкий // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. – 2021. – 24(6). – С. 6–15. <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2021-24-6-6-15>
- Рогулева, Н. О. Рентгенографическая экспресс-оценка качества семян как перспективный метод в семеноведении древесных интродуцентов / Н. О. Рогулева Н. В. Янков, Т. М. Жавкина, П. В. Родионова, Л. М. Кавеленова // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2022. – № 144. – С. 51–56. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2022-144-51-56>
- Abud, H. F. Radiographic images and relationship of the internal morphology and physiological potential of broccoli seeds. Acta Scientiarum / H. F. Abud, S. M. Cicero, F. G. Junior // Agronomy. – 2018. – Vol. 40. – No. 1. – P. 1–9. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.34950>
- Rahman, A. Assessment of seed quality using non-destructive measurement techniques: a review / A. Rahman, B. K. Cho // Seed Science Research. – 2016. – Vol. 26. – No. 4. – P. 285–305. <http://dx.doi.org/10.1017/S096025851600023>

ФЛОРА ОХРАНЯЕМЫХ ВОДОЁМОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ ЕКАТЕРИНБУРГА

Н. Ю. Груданов*, М. С. Бутакова**

*Ботанический сад УрО РАН

E-mail: nickolai.grudanoff@yandex.ru

**Уральский федеральный университет

Организация особо охраняемых природных территорий является одним из наиболее значимых способов сохранения живой природы. В их пределах охраняются целостные комплексы, что способствует сохранению биоразнообразия на всех его уровнях. Водоёмы – это особые участки с неоднородной структурой, способствующие сохранению разных компонентов биоты.

Нашей целью было исследование и анализ видового состава сосудистых растений охраняемых водоёмов окрестностей Екатеринбурга. Район исследований расположен в горной части Среднего Урала в подзоне южной тайги. Всего было обследовано 9 водоёмов, 8 из них являются памятниками природы регионального значения: оз. Песчаное, оз. Балтым (городской округ Верхняя Пышма), оз. Таватуй (Невьянский район), оз. Глухое (ГО Первоуральск), оз. Исетское (ГО Среднеуральск), оз. Белое (Арёмовский район), Глубоченский пруд (Полевской район), Шилловский пруд (Берёзовский ГО), и один водоём на территории природного парка «Бажовские места» – оз. Багаряк (Сысертский район). Флора водоёмов нами понимается как совокупность видов водных и заходящих в воду растений, встречающихся в водоемах определенной территории (Папченков и др., 2003).

Во флоре водоёмов окрестностей Екатеринбурга выявлено 4 отдела (Magnoliophyta, Equisetophyta, Lycopodiophyta, Polypodiophyta), 5 классов (Magnoliopsida, Liliopsida, Equisetopsida, Isoetopsida, Polypodiopsida), 44 семейства, 79 родов и 161 вид сосудистых растений.

В семейственно-видовом спектре первую триаду составляют семейства *Cyperaceae* (20 видов / 12.4%), *Poaceae* (15 / 9.3%) и *Potamogetonaceae* (12 / 7.5%). Четвёртый ранг у семейства *Polygonaceae* (10 / 6.2%), *Asteraceae* и *Ranunculaceae* занимают 4-5 ранг (по 9 / 5.6%). Семейство *Salicaceae* занимает седьмой ранг (6 / 3.7%).

Ведущими родами являются *Carex* (13 видов / 8.1%), *Potamogeton* (12 / 7.5%), *Ranunculus* (7 / 4.3%), *Salix* (6 / 3.7%), *Persicaria* (5 / 3.1%), *Rumex* (5 / 3.1%), *Bidens* (4 / 2.5%), *Eleocharis* (4 / 2.5%), *Epilobium* (4 / 2.5%), *Sparganium* (4 / 2.5%).

Во флоре нами обнаружено 7 чужеродных видов: *Lemna gibba* L., *Bidens frondosa* L., *Sonchus arvensis* L., *Impatiens glandulifera* Royle, *Elodea canadensis* Michx., *Epilobium adenocaulon* Hausskn., *E. pseudorubescens* A.K. Skvortsov. Большая часть видов – аборигенные. Чужеродные виды исключены из дальнейшего анализа ареалов.

Соотношение долготных групп ареалов отражает положение изучаемой территории в пределах умеренной зоны Евразии вблизи границы Европы и Азии. Наиболее многовидовыми группами являются голарктическая (45.5%) и евразийская (21.4%). На третьем месте по видовой представленности находится группа европейско-западноазиатских видов (14.9%). Виды с прочими ареалами менее многочисленны и суммарно составляют около 18%.

В спектре широтных географических элементов преобладает плюризональная группа (69.5%), что в целом характерно для водных сообществ. Значительную долю составляют группы бореальных (14.9%) и бореально-неморальных (8.4%) видов, что отражает расположение изученных водоёмов в таёжной зоне, вблизи её южной границы.

Согласно системе жизненных форм К. Раункиера, доминирующее положение во флоре водоёмов занимают растения-криптофиты (50.9%), что отражает положение территории в умеренной климатической зоне. Среди них больше всего гидрофитов (23%) – растений составляющих основу флоры водных объектов, чуть меньшую часть составляют гелофиты (18%) – прибрежно-болотные растения. Доля геофитов невелика (9.9%) – это немногочисленные береговые и заходящие в воду растения. Второе место занимают гемикриптофиты (30.4%), куда в основном входят многочисленные прибрежные осоки и злаки. Терофиты занимают третье место во флоре водоёмов (11.2%), это однолетники, произрастающие на осушенных отмелях. Небольшую часть флоры охраняемых водоёмов составляют фанерофиты – 6.2% (роды *Salix* и *Alnus*). Наименьшую долю флоры составляют растения-хамефиты, они представлены всего двумя видами (1.2%).

По классификации растений водоёмов и водотоков В. Г. Папченкова (Папченков, 2006) с изменениями, виды исследованной флоры распределяются следующим образом: наибольшее количество видов относится к двум экотипам: гидрофитам и гидрофитам (по 56 видов / 34.8%). В свою очередь, среди гидрофитов наиболее массовой является экогруппа погружённых укореняющихся гидрофитов (22 / 13.7%). Почти втрое меньше укореняющихся видов с плавающими листьями (8 / 5.0%). Меньше всего видов в группах свободноплавающих в толще воды и на

её поверхности (по 4 / 2.5%). Среди гелофитов больше низкотравных – 14 видов / 8.7%, против 4 / 2.5% высокотравных.

По частоте встречаемости виды охраняемых водоёмов можно разделить на 5 классов: очень редкие, встречающиеся только в одном водоёме (32.9% видов флоры), редкие, встреченные в 2–3 водоёмах (32.3%), обычные, встреченные в 4–6 водоёмах (24.2%), частые, встреченные в 7–8 водоёмах (8.1%), и повсеместные, отмеченные во всех водоёмах (2.5%). Повсеместно распространёнными являются 4 вида: *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Poa palustris* L., *Typha latifolia* L. и *Scutellaria galericulata* L. Среди видов очень редких в изученной флоре, например, представлены следующие собственно-водные растения: *Isoetes lacustris* L., *Lemna gibba* L., *Potamogeton alpinus* Balb., *P. crispus* L., *P. friesii* Rupr., *P. gramineus* L., *Sparganium gramineum* Georgi, *Myriophyllum spicatum* L., *M. verticillatum* L., *Hippuris vulgaris* L., *Utricularia intermedia* Hayne, *Nymphoides peltata* (S.G. Gmel.) Kuntze, *Nymphaea tetragona* Georgi, *Batrachium eradicatum* (Laest.) Fries, *B. kauffmannii* (Clerc) Krecz.

В изученных водоемах нами обнаружено 6 редких и охраняемых видов, внесенных в Красную книгу Свердловской области (Красная..., 2018): *Nuphar lutea* (L.) Sm., *N. pumila* (Timm) DC., *Nymphaea candida* C.Presl, *N. tetragona* Georgi, *Nymphoides peltata* (S.G. Gmel.) Kuntze, *Sparganium gramineum* Georgi и два вида, внесенных в Перечень объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации (Приказ..., 2023): *Isoetes lacustris* L. и *I. echinospora* Durieu.

ЛИТЕРАТУРА

Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы. – Екатеринбург: ООО «Мир», 2018. – 450 с.

Папченков, В. Г. Различные подходы к классификации растений водоёмов и водотоков / В. Г. Папченков // Материалы VI Всероссийской школы – конференции по водным макрофитам «Гидробиотаника 2005». – Рыбинск: ОАО «Рыбинский Дом печати», 2006. – С. 16–24.

Папченков, В. Г., Основные гидробиотанические понятия и сопутствующие им термины / В. Г. Папченков, А. В. Щербаков, А. Г. Лапиров // Гидробиотаника: методология и методы: Материалы Школы по гидробиотанике, пос. Борок, 8–12 апреля 2003 г. – Рыбинск: Рыбинский дом печати, 2003. – С. 27–38.

Приказ министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 23 мая 2023 года N 320 «Об утверждении Перечня объектов растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации».

ИЗМЕНЕНИЕ ФЛОРИСТИЧЕСКОГО СОСТАВА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ ЗАКАЗНИКА «ГЛАДЫШЕВСКИЙ» (г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ) ЗА 2008–2020 гг.

В. Н. Добронравина*, Е. В. Кушневская**

*Ботанический институт им. В. Л. Комарова Российской академии наук

E-mail: dobronravina.v@yandex.ru

**Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: elly.kushn@gmail.com

Государственный природный заказник «Гладышевский», основанный в 1996 году, расположен в двух субъектах Российской Федерации – Санкт-Петербурге и Ленинградской области. В пределах Санкт-Петербурга он занимает 765 га на северо-западе Курортного района, охватывая бассейны рек Гладышевка, Рощинка, Черная и прилегающую акваторию Финского залива. С 2008 г. в заказнике на постоянных пробных площадях (ППП; к настоящему моменту их 7) ведется мониторинг природных комплексов (Атлас..., 2016).

Для исследования были отобраны 3 ППП с типичной для территории лесной растительностью: елово-березовый мертвопокровный (в центральной части), травяной (по окраинам) лес (ГЗ-2, площадь 900 м²), сосново-еловый чернично-зеленомошный, сфагновый лес (ГЗ-3, площадь 2500 м²), сосняк кустарничково-зеленомошный (ГЗ-6, площадь 2500 м²). Были проанализированы данные мониторинга за 2008 (для ГЗ-6 – 2009), 2012, 2016 и 2020 гг., предоставленные сотрудниками Ботанического института РАН и СПбГУ. Для оценки изменений флористического состава отдельно для трех групп растений – сосудистых, мохообразных (всех субстратных групп) и лишайников (всех субстратных групп) – были использованы мера флористического контраста и индекс биотической дисперсии Коха.

Увеличение числа видов наблюдается на всех ППП для лишайников и на ГЗ-3 и ГЗ-6 – для мохообразных. Для сосудистых растений на ГЗ-3 и мохообразных на ГЗ-2 отмечено уменьшение числа видов. На ГЗ-2 и ГЗ-6 число видов сосудистых растений колеблется около 52 и 17 соответственно.

Состав сосудистых растений на всех ППП относительно стабилен, максимальное обновление – меньше 30% (ГЗ-2). Состав мохообразных наиболее заметно изменился на ГЗ-6 (более 70% новых видов за 11 лет), лишайников – на ГЗ-2 (около 50% новых видов за 12 лет). Флористическая гомогенность во времени для сосудистых растений относительно высокая (в среднем 78%).

Для лишайников она приблизительно одинаковая на всех ППП (в среднем 70%); изменение состава идет за счет притока эпиксильных и эпифитных видов. Низкие значения флористической гомогенности для мохообразных (ГЗ-2 – 61%, ГЗ-3 – 44%, ГЗ-6 – 40%) объясняются как активным освоением ими различных субстратов (валеж, валуны, нарушенная почва), так и попыткой вселения типично лесных видов в мертвопокровное сообщество с переменным успехом.

Из сосудистых растений на ГЗ-2 заселяются болотно-лесные (*Carex brunnescens* (Pers) Poir., *Crepis paludosa* (L.) Moench) и опушечно-лесные виды (*Lapsana communis* L., *Prunella vulgaris* L.), на ГЗ-6 – лесные (*Goodyera repens* (L.) R. Br, *Orthilia secunda* (L.) House). На ГЗ-3 отмечено исчезновение лесных видов (*Lycopodium annotinum* L., *Orthilia secunda*).

Состав мохообразных ГЗ-2 заметно колеблется: наблюдается вселение обычных лесных видов, но не всем из них удается закрепиться. На ГЗ-3 заселяются виды нарушенных микроместобитаний (*Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb., *Polytrichum longisetum* Sw. Ex Brid.), лесные мхи (*Dicranum majus* Turner, *Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst.), эпиксильные печеночники (*Cephalozia curvifolia* (Dicks.) Dumort., *Lophozia guttulata* (Lindb. et Arnell) A.Evans). ГЗ-6 характеризуется вселением мохообразных нарушенных микроместобитаний (*Polytrichum commune* Hedw., *Pogonatum urnigerum* (Hedw.) P.Beauv.), что связано с зарастанием почвенных нарушений, и лесных видов (*Sciuro-hypnum oedipodium* (Mitt.) Ignatov&Huttunen, *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.). Для лишайников основные изменения в составе связаны с притоком эпифитных (*Biatora efflorescens* (Hedl.) Räsänen, *Parmelia sulcata* Taylor) и эпиксильных (*Absoconditella lignicola* Vězda et Pišút, *Cladonia norvegica* Tønsberg et Holien) видов.

В целом, на всех ППП наблюдается рост общего числа видов; увеличивается разнообразие субстратов, занятых мохообразными и лишайниками. Организация ООПТ пока не привела к значительным изменениям в растительном покрове; наблюдается небольшое увеличение числа типично лесных видов. Планируется изучение динамики структуры древостоя и нижних ярусов сообществ.

ЛИТЕРАТУРА

Атлас особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга / отв. ред. В. Н. Храмов, Т. В. Ковалева, Н. Ю. Нацвалдзе. – СПб., 2016. – 176 с.

ЭНДЕМИЧНЫЕ ВИДЫ СЕМЕЙСТВА LILIACEAE JUSS. НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОЙ ГОРНОЙ СТРАНЫ

Е. А. Жолнерова

Алтайский государственный университет

E-mail: zholnerova.liza@mail.ru

Важнейшим компонентом окружающей среды, который непосредственно влияет на состояние климата планеты и глобальных экосистем, является биологическое разнообразие. Именно антропогенное воздействие в значительной степени влияет на сокращение биоразнообразия, что приводит к глобальным изменениям экосистемы. Многие изучаемые виды являются лекарственными, медоносными и декоративными растениями. Широко используются в озеленении, являясь источником для выведения новых сортов. Всестороннее изучение представителей семейства *Liliaceae* Juss. имеет огромное значение для решения природоохранных проблем и вопросов систематики.

На данный момент конспект для территории Алтайской горной страны (АГС) включает 34 вида из 5 родов семейства *Liliaceae* Juss. (*Gagea* Salisb., *Lilium* L., *Fritillaria* L., *Tulipa* L., *Erythronium* L.). Повторная ревизия актуальных изданий Красных книг: Российской Федерации, Алтайского края, Республики Алтай, Красноярского края, Кемеровской области, Республики Хакасия, Республики Тыва, Синьцзян-Уйгурского автономного района КНР, Казахстана, Монголии показала, что из 18 видов, имеющих охранный статус, 7 являются эндемиками (Жолнерова и др., 2022). Стоит отметить, что именно эндемичные виды определяют оригинальность флоры. Тем не менее, популяции видов мало изучены. Информация об их численности, экологии и биологии часто неполная или вообще отсутствует.

Путем инвентаризации коллекции АЛТВ и использования дистанционно задействованных цифровых фондов гербариев (NS (NSK), MW, E, CAS, PE, B и G) получена карта распространения эндемичных видов семейства *Liliaceae* Juss. по ботанико-географическим районам АГС (рис.). Для картирования и анализа данных распространения использована программа DIVA-GIS 7.5. Оценка распространения видов произведена с помощью Глобальной информационной системой по биоразнообразию – GBIF (<http://www.gbif.org>). Названия таксонов и состав семейства в работе приведен в соответствии с современной системой APG IV. Указание авторов таксонов уставлено согласно сведениям из базы данных IPNI (<http://www.ipni.org>).

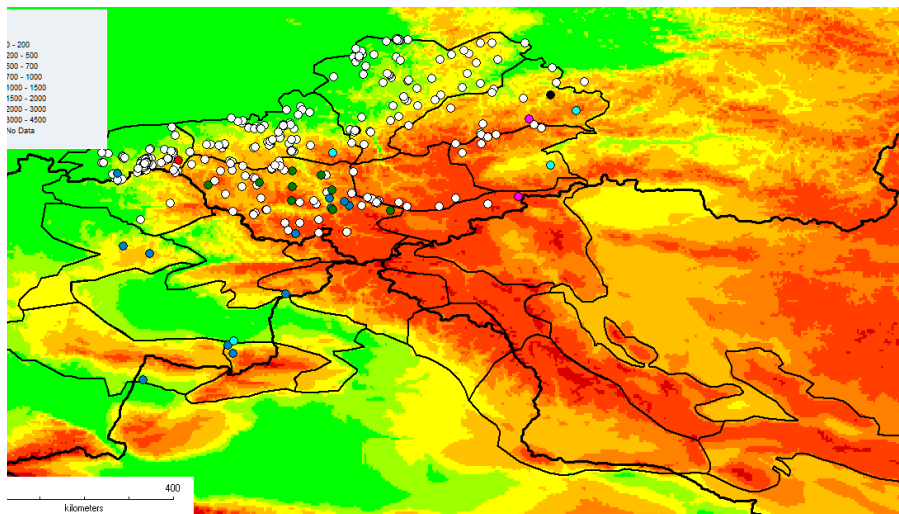


Рис. Карта распространения эндемичных видов на территории АГС: белый – *Erythronium sibiricum*, розовый – *Fritillaria dagana*, синий – *Fritillaria verticillata*, голубой – *Gagea altaica*, красный – *Gagea shmakoviana*, зеленый – *Tulipa heteropetala*, чёрный – *Fritillaria sonnikovae*.

Fritillaria dagana Turcz. ex Trautv. – Рябчик дагана. Южно-сибирско-монгольский эндемик с дизъюнктивным ареалом (Санданов, 2013). Вид включен в Красные книги Республики Тыва, Красноярского края и Российской Федерации. Выращивается в ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск). Как и остальные виды, характеризуется немногочисленными популяциями, состояние которых местами весьма угнетенное и мало изучено.

Fritillaria verticillata Willd. – Рябчик мутовчатый. Распространён в Синьцзян-Уйгурском автономном районе, в Прибалхашье, в Джунгарии, по Тарбагатаю. Включен в Красные книги Республики Алтай и Алтайского края. Вид интродуцирован в Южно-Сибирский ботанический сад (ЮСБС, г. Барнаул). Достоверная информация о численности и состоянии локальных популяций отсутствует.

Fritillaria sonnikovae Schaulo et A. Erst – Рябчик Сонниковой. Узколокальный эндемик Западного Саяна. Встречается в приенисейской части, на хребтах Борус и Саянский. Включен в Красную книгу Красноярского края.

Gagea altaica Schischk. et Sumn. – Гусинолулук алтайский. Эндемик Алтае-Саянской флористической провинции. Включен в Красные книги Республики Алтай, Республики Тыва и Красноярского края. Описан в Восточном Казахстане. Вид весьма редок на протяжении всего ареала.

Gagea shmakoviana Levichev – Гусинолук Шмакова. Эндемик Западного Алтая. Включен в Красную книгу Алтайского края, как уязвимый вид. В крае имеется одно местонахождение в пойме р. Сентелек. Популяция насчитывает около 100 экземпляров.

Tulipa heteropetala Ledeb. – Тюльпан разнолепестный. Распространен в Западной и Восточной Сибири, Казахстане, северо-восточной части Средней Азии. Внесен в Красные книги Алтайского края, Красноярского края и Казахстана. Вид интродуцирован в Южно-Сибирский ботанический сад (ЮСБС, г. Барнаул) и ботанические сады Казахстана (Риддер, Алма-Ата). Полная информация о численности и состоянии локальных популяций отсутствует.

Erythronium sibiricum (Fisch. et C. A. Mey.) Kryl. – Кандык сибирский. Редкий вид, эндемик Алтае-Саянской флористической провинции, неморальный реликт третичного возраста, преимущественно лесной мезофит. Вид занесён в 9 изученных Красных книг территориально входящих в состав АГС. Угроза существования *E. sibiricum*, как полноценного аборигенного вида, всё же остаётся, несмотря на массовость в отдельных регионах. Ранее произведено биоклиматическое моделирование пригодных для расселения местообитаний Кандыка сибирского (Ваганов и др., 2023). Исследование применимо к остальным ценным видам и будет продолжено в этом направлении.

Основными лимитирующими факторами для охраняемых видов остаются: переуплотнение почвы, выпас скота, пожары и палы, несанкционированные рубки, сбор на букеты. Необходимо выявить места произрастания с высоким обилием редких видов, обеспечить контроль за состоянием локальных популяций, провести работу по выявлению новых местообитаний. Рекомендуется запрет палов, рубок, мелиоративных работ, продажи, регулирование выпаса скота в местах произрастания, осуществление контроля за исполнением мер в крупных населенных пунктах.

ЛИТЕРАТУРА

Ваганов, А. В., Климатическое моделирование пригодности местообитаний *Erythronium sibiricum* (Fisch. et C.A. Mey.) Krylov / А. В. Ваганов, Е. А. Жолнерова, В. Ф. Зайков., А. И. Шмаков // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 3. – С. 208–214.

Жолнерова, Е. А. Охраняемые виды семейства Liliaceae Juss. на территории Алтайской горной страны / Е. А. Жолнерова, В. Ф. Зайков, А. В. Ваганов // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2022. – № 2. – С. 38–42.

Санданов, Д. В. Находка *Fritillaria dagana* (Liliaceae) в Монголии / Д. В. Санданов // Растительный мир Азиатской России. – 2013. – № 1(11). – С. 44–46.

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
НА ФЕНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ
ABIES SIBIRICA LEDEB.
В ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОМ БОТАНИЧЕСКОМ
САДУ-ИНСТИТУТЕ им. Н. А. АВРОРИНА**

П. С. Зыкова, О. А. Гончарова

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина

E-mail: zykova22@gmail.com

E-mail: goncharova0a@mail.ru

Пихта сибирская – одна из основных лесообразующих пород Сибири, представляющая большую ценность для лесной промышленности, используется в медицине и озеленении. В Мурманской области в естественном виде не встречается. В Полярно-альпийском ботаническом саду-институте (ПАБСИ) в интродукции с 1930-х годов.

Цель исследования: определить наиболее значимые климатические показатели для вегетативного фенологического развития *Abies sibirica* Ledeb. при интродукции в условия Арктической зоны РФ (на примере Мурманской области).

Объекты исследования – 5 образцов *Abies sibirica* Ledeb., произрастающих на экспериментальном участке ПАБСИ в окрестностях г. Апатиты (центральная часть Мурманской области). Исходный материал был получен в виде семян и живых растений культурного и природного происхождения. Возраст деревьев – 34–48 лет.

Фенологические наблюдения проводили по методикам Елагина И. Н. (1961), Бородиной Н. А. (1965), Булыгина Н. Е. (1979), Александровой М. С. с соавторами (1975) 2–3 раза в неделю в течение всего вегетационного периода. В данной работе рассматривались сроки наступления следующих фенологических фаз: набухание и распускание вегетативных почек (Пч1, Пч2), начало и окончание линейного роста боковых побегов (Пб1, Пб2), полное одревеснение побегов (О2), завершение роста и вызревания хвои (ЛЗ) – и продолжительность периода линейного роста боковых побегов (РП). Согласно применяемым методикам наблюдений, дата наступления Пч2 и Пб1 совпадает. Фенодаты были переведены в непрерывный числовой ряд по Зайцеву Г. Н. (1981). Температура, влажность и осадки регистрировались каждый час метеостанцией DEVIS envoy8x, установленной на территории экспериментального участка ПАБСИ. В результате был сформирован банк фенологических и метеорологических данных за 9 лет: за 2015–2023 гг.

Статистическая обработка производилась в программах: Excel, Past 4.16, Statistica 13 с использованием критерия Шапиро–Уилка, дисперсионного (ANOVA, критерий Краскела–Уоллиса) и корреляционного (коэффициент корреляции Спирмена) анализов. В работе учитывались только значимые корреляционные связи (уровень значимости $p \leq 0.05$) средней силы и выше по шкале Чеддока ($r_s > 0.5$).

Дисперсионный анализ не выявил достоверных различий в сроках наступления фенологических фаз и продолжительности роста побегов между образцами, поэтому данные были объединены. В связи с тем, что распределение данных отличается от нормального, в работе используются значения медиан и межквартильных интервалов по виду в целом. При сравнении по годам были выявлены достоверные различия между некоторыми из них.

Согласно многолетним данным, у *Abies sibirica* набухание и распускание почек и начало линейного роста побегов происходит в конце мая–начале июня (Пч1: 23.V–3.VI, Пч2, Пб1: 30.V–10.VI), окончание роста побегов – в конце июня (24.VI–30.VI), окончание роста хвои – во второй половине июля (18–30.VII), полное одревеснение побегов – во второй половине августа (14–27.VIII), продолжительность роста побегов составляет 18–25 дней. Соответствующим образом увеличиваются суммы активных (САТ) выше 0, 5 и 10 °С и эффективных (СЭТ) выше 5 и 10 °С температур, накопленных от даты устойчивого перехода через 0, 5 или 10 °С весной соответственно к определенной фенодате. Устойчивый переход температур через 10 °С весной нередко происходит позднее прохождения ранних фенологических фаз (Пч1, Пч2, Пб1), поэтому САТ и СЭТ выше 10 °С для этих фенофаз были исключены из дальнейшего корреляционного анализа.

Сроки наступления ранних фенофаз (Пч1, Пч2, Пб1) имеют положительные корреляции со всеми фенодатами и отрицательную с продолжительностью периода роста побегов. Наименьшее количество межфазовых корреляций (по 2) выявлено для продолжительности и окончания роста линейных побегов.

Даты устойчивого перехода через 0 и 5 °С весной сопряжены со сроками наступления всех фенологических показателей, кроме окончания и продолжительности роста побегов. Суммы активных температур выше 0 и 5 °С, накопленных к фенодате или за фенологический период, взаимосвязаны только со сроками окончания роста хвои и продолжительностью периода роста побегов. Суммы эффективных температур выше 5 и 10 °С и дата перехода через 10 °С не имеют корреляций с исследуемыми фенопоказателями. Продолжительность периода с устойчивыми отрицательными температурами, предшествующего вегетационному периоду, сопряжена со сроками полного одревеснения побегов и продолжительностью периода их линейного роста.

Также был проведен корреляционный анализ для выявления взаимосвязей между сроками наступления фенофаз и продолжительностью фенопериода со среднемесячными температурами и влажностью, количеством осадков за месяц, а также суммами активных температур, накопленными за месяц, и суммами активных температур с нарастающим итогом по месяцам, начиная с апреля. Апрель выбран за начальный период, т. к. переход через 0 °С наступает в среднем в первой половине апреля.

Сроки наступления всех фенологических фаз имеют отрицательную корреляцию со следующими показателями: среднемесячная температура апреля (кроме Пб2) и мая; сумма активных температур выше 0, 5 и 10 °С за май; сумма активных температур выше 0, 5 и 10 °С с нарастающим итогом по месяцам с апреля по май и июнь (для САТ выше 10°С по июнь – кроме Л3 и О2).

Среднемесячная влажность и сумма осадков за месяц имеют единичные корреляции. Продолжительность роста побегов имеет корреляции со среднемесячной температурой мая, суммами активных температур выше 0 и 5 °С за май и суммами активных температур выше 0 и 5 °С с нарастающим итогом по месяцам по май.

Таким образом, фенологическое развитие *Abies sibirica* Ledeb. в условиях Мурманской области в наибольшей степени сопряжено с условиями начала периода вегетации и за один-два месяца до него, а именно: датами перехода через 0 и 5 °С, температурными показателями апреля, мая и июня.

Работа выполнена на УНУ «Коллекции живых растений Полярно-альпийского ботанического сада-института», рег. № 499394, в рамках темы Стратегия развития и содержания коллекционных фондов ПАБСИ, как базы для проведения научных изысканий в области интродукции и экологии в Арктической зоне РФ (ФМЕЗ-2024-0012), рег.№1023032400462-1-1.6.19;1.6.20;1.6.4;1.6.11, № ЕГИСУ НИОКТР – 124020500057-4.

ЛИТЕРАТУРА

Александрова, М. С. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР / М. С. Александрова, Н. Е. Булыгин, В. Н. Воршилов. – М.: Изд-во ГБС АН СССР, 1975. – 28 с.

Бородина, Н. А. Методика фенологических наблюдений над растениями семейства Pinaceae / Н. А. Бородина // Бюллетень Главного ботанического сада. – 1965. – Вып. 57. – С. 11–19.

Булыгин, Н. Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями / Н. Е. Булыгин. – Л.: изд-во ЛТА, 1979. – 79 с.

Елагин, И. Н. Методика определения фенологических фаз у хвойных / И. Н. Елагин // Ботанический журнал, 1961. – №7. Т. 46. – С. 984–992.

Зайцев, Г. Н. Фенология древесных растений / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1981. – 120 с.

ЛИХЕНОБИОТА ЕЛЬНИКОВ И СОСНЯКОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ ПОСЕЛКОВ КОНДИНСКОЕ И МЕЖДУРЕЧЕНСКИЙ (КОНДИНСКИЙ РАЙОН, ХМАО)

В. И. Конева, Н. А. Алексеева

Тюменский государственный университет

E-mail: koneva1809@gmail.com

E-mail: naalex@mail.ru

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (далее ХМАО) богат природными ресурсами и нефтегазовыми месторождениями, но растительный мир и лишенобиота подвергаются сильному антропогенному воздействию. Всего в округе выявлено около тысячи видов лишайников. Наиболее изученными являются территории Северного Урала, верховья реки Аган, Приполярного Урала и нескольких заповедников (Седельникова, 2011). В связи с вышеперечисленным, изучение и сохранение биологического разнообразия, в том числе лишенофлоры, становится актуальным.

Сбор материала осуществлялся в 2022 г. в Кондинском административном районе ХМАО в окрестностях двух поселков городского типа – Кондинское и Междуреченский, которые находятся в среднетаежной подзоне (Гвоздецкий, 1973). Всего было заложено 30 учетных площадок в ельниках и сосняках за пределами поселков и частично на их территории внутри крупных лесных массивов. Собирали лишайники разных экологических групп: эпигейные, эпиксильные, эпифитные. Для изучения эпифитного лишайникового покрова на каждой площадке выбирали десять деревьев диаметром больше 10 см. Всего было собрано более 630 пакетов лишайников (около 2000 образцов).

В окрестностях поселка Междуреченский заложено 15 учетных площадок в следующих сообществах: ельник папоротниковый с рябиной (3 учетные площадки), ельник злаково-разнотравно-зеленомошный с сосной сибирской (3), ельник злаково-разнотравно-зеленомошный (2), ельник-черничник (2), ельник злаково-разнотравно-зеленомошный (2), ельник папоротниково-кисличный (1), ельник злаково-костянично-кисличный (1), ельник злаково-чернично-зеленомошный (1). В окрестностях поселка Кондинское также заложено 15 учетных площадок в сообществах: сосняк багульниково-зеленомошный (6), сосняк багульниковый (3), сосняк зеленомошный (3), сосняк злаковый (2), сосняк багульниково-кладониево-зеленомошный (1). Сомкнутость крон в изученных сообществах варьировала от 30% до 60%. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса в ельниках изменялось от 10–20% до 100%, в сосняках – от 1–5% до 35–40%.

В ходе исследования всего было найдено 45 видов лишайников из 20 родов и 9 семейств, относящихся к отделу Ascomycota. Ведущими семействами являются *Parmeliaceae* (19 видов), *Cladoniaceae* (12 видов) и *Physciaceae* (5 видов), на долю которых в сумме приходится 80% от видового разнообразия. К ведущим родам относятся *Cladonia* (12 видов) и *Bryoria* (6 видов), суммарная доля которых составляет 40%. Роды *Buellia*, *Candelariella*, *Chaenotheca*, *Cetraria*, *Evernia*, *Flavoparmelia*, *Hypocenomice*, *Hypogymnia*, *Lecanora*, *Melanohalea*, *Parmelia*, *Parmeliopsis*, *Peltigera*, *Physcia*, *Rinodina*, *Scoliciosporum*, *Usnea*, *Vulpicida* включают 1-2 вида, что вполне соответствует литературным сведениям (Седельникова, 2011).

Ельники характеризуются большим таксономическим разнообразием (39 видов из 19 родов и 8 семейств) по сравнению с сосняками (34 вида из 16 родов и 6 семейств). *Pinus sylvestris* и *Picea obovata* характеризуются кислой корой, поэтому видовой состав лишенобиоты должен быть сходен (Иржигитова, Корчиков, 2011). Результаты наших исследований показали варьирование коэффициента Жаккара от 14% до 58%, что может быть обусловлено микроклиматическими условиями.

Большинство лишайников (72.7%) имеют бореальный ареал. На всех площадках доминируют кустистые лишайники – 46.7%, на долю листоватых и накипных приходится соответственно 31.1% и 22.2%. Преобладают эпифиты – 54.3%, доля эпиксилно-эпигейных и эпифитно-эпиксилных лишайников составляет 23.9% и 13.1%. Эпигейные лишайники встречались редко и в незначительном обилии, их доля равна 8.7%.

В еловых сообществах обилие лишайников в фоновых участках в стволовых синузиях изменялось от 11% до 82%, в прикорневых – от 11% до 91%; в сосняках эти показатели варьировали соответственно от 5% до 80% и от 16% до 76%.

Площадки, находящиеся в непосредственной близости или на территории поселений, подвергались рекреационной нагрузке (вытаптывание, замусоривание), а также воздействию выбросов автотранспорта и угольных котельных, которые негативно влияют на лишайниковый покров (Волынкина, Пряничников, 2002).

В ельниках, подверженных антропогенному влиянию, обилие эпифитных лишайников снижается в 1.6–1.9 раза и составляет в стволовых синузиях в среднем 23.9%, в прикорневых – 32.4%; в сосняках обилие уменьшается более чем в 2 раза и достигает 27.8% и 31.6% соответственно; различия статистически достоверны по сравнению с фоновыми условиями. Кроме того, вблизи поселков в ельниках отмечено статистически достоверное снижение общего числа видов на форофите, а также в стволовой и прикорневой синузиях; в сосняках достоверно уменьшается общее число видов

на дереве. Также у лишайников отмечены разрушения корового слоя, изменение формы и цвета слоевища.

Наиболее чувствительными к антропогенному влиянию оказались кустистые лишайники (*Bryoria fuscescens*, *Usnea hirta* и др.). Распространенными видами (частота встречаемости 50-100%) являются *Evernia mesomorpha*, *Hypogymnia physodes*, *Parmelia sulcata*, *Scoliciosporum chlorococcum*, *Vulpicida pinastri*, что соотносится с литературными данными (Толпышева, 2019).

ЛИТЕРАТУРА

Волынкина, Е. П. Снижение выбросов загрязняющих веществ на угольных котельных со слоевой системой сжигания / Е. П. Волынкина, Е. В. Пряничников // Теплоэнергетика. – 2002. – № 2. – С. 33–41.

Гвоздецкий, Н. А. Физико-географическое районирование Тюменской области. Издательство Московского университета / Н. А. Гвоздецкий. – 1973. – 245 с.

Иржигитова, Д. М. Некоторые химические особенности коры деревьев как субстрата для развития лишайников (на примере Красносарского лесного массива) / Д. М. Иржигитова, Е. С. Корчиков // Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. – 2011. – № 5(86). – С. 144–152.

Седельникова, Н. В. Экологические особенности лишенофлоры Ханты-Мансийского автономного округа – Югры / Н. В. Седельникова // Сибирский экологический журнал. – 2011. – № 2. – С. 203–214.

Толпышева, Т. Ю. Эпифитные лишайники некоторых антропогенных местообитаний сельской местности (Зубцовский район, Тверская область) / Т. Ю. Толпышева // Социально-экологические технологии. – 2019. – № 4. – С. 467–480.

ВЕПСОВСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ (ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛ.) КАК РЕФУГИУМ СЕВЕРНЫХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ

Н. К. Конотоп*, Ю. С. Виноградова**

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН

E-mail: nikita.konotop@yandex.ru

**Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидов

E-mail: ylia.vinogradova1997@yandex.ru

Вепсовская возвышенность, расположена на севере Восточно-Европейской равнины, административно на западе Вологодской (Бабаевский, Вытегорский р-ны) и на востоке Ленинградской (Подпорожский, Бокситогорский, Тихвинский р-ны) областей, высота достигает 304 м (г. Мальгора). Характеризуется холмисто-моренным рельефом, большим числом озёр, крупных болот и малым числом рек (Тутока, Оять, Капша, Колокша, Ножема и др.). Получила свое название от проживающего на этой территории малого финно-угорского народа – вепсов. В основании возвышенности лежит валлообразное структурное поднятие, породы каменноугольной системы перекрыты ледниковыми и водоледниковыми отложениями. Среднегодовая температура в среднем 2–2.5 градуса.

Подавляющая часть озёр на возвышенности олиготрофные со слабоминерализованной (5–30 мг/л), слабокислой или кислой водой (рН 4.14–6.7, в среднем рН 5), песчаным или песчано-илистым грунтом и соответственно невысоким разнообразием водных макрофитов. Однако среди водных растений много редких охраняемых видов (Красная книга..., 2004).

Материал для исследования был собран летом 2023 г. по стандартной методике, гербарные образцы хранятся в гербарии Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (IBIW).

Для определения границ распространения видов растений в Вологодской обл. и на территории России использованы следующие источники: базы данных Глобального информационного фонда по биоразнообразию (the Global Biodiversity Information Facility – GBIF, <https://doi.org/10.15468/dl.sdrv4u>), гербарные коллекции (IBIW, MW), научные публикации (Volkova et al., 2018; Grigoryan et al., 2021; Bobrov et al., 2023), собственные материалы 2023 г. На основании этих данных составлена картосхема распространения видов (рис.) в программе QGIS с использованием растров среднегодовых температур из базы глобальных данных о погоде WorldClim (Fick, Hijmans, 2017).

В озёрах Вепсовской возвышенности. обнаружен рефугиум северных олиготрофных видов на южной границе ареала: *Isoetes echinospora* Durieu, *I. lacustris* L., *Lobelia dortmanna* L., *Nuphar pumila* (Timm) DC., *Nymphaea tetragona* Georgi, *Sagittaria natans* Pall., *Sparganium gramineum* Georgi. Также здесь обнаружен гибрид *Sparganium gramineum* с другим северным видом *S. angustifolium* Michx. – *S. × speirocephalum* Neuman, а собственно *S. angustifolium* обнаружен не был.

В результате исследований *Nuphar pumila* был найден в 1 озере, чаще встречались гибриды с участием *N. lutea* – *N. × spenneriana* Gaudin.

Здесь мы собрали *Sagittaria natans* – северный, преимущественно азиатский вид. На Северо-Западе европейской части России он редок и чаще встречается его гибрид с, в основном, европейским видом *S. sagittifolia* – *S. × lunata* C. Preston et Uotila. На данный момент это самое южное местонахождение *Sagittaria natans* в европейской части России.

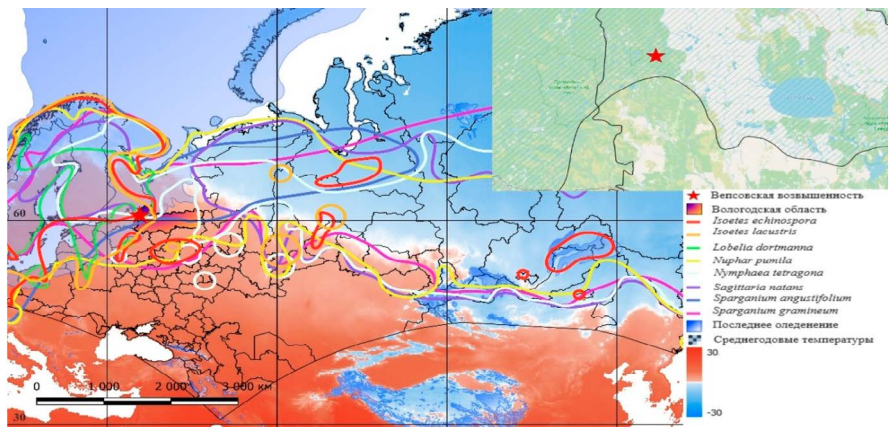


Рис. Картограмма распространения северных видов водных растений.

Причины произрастания северных видов в озёрах Вепсовской возвышенности:

1) Вблизи данной территории проходит линия разделения положительных и отрицательных среднегодовых температур (рис. 1), из-за чего здесь смогли сохраниться северные виды водных растений. Но из-за пограничного положения здесь отмечается и их гибридизация с видами, обитающими в зоне положительных среднегодовых температур, например, *Nuphar × spenneriana* (*N. lutea* × *N. pumila*). Возможно, нахождение здесь *Sparganium × speirocephalum* (*S. angustifolium* × *S. gramineum*) также связано с этим;

2) По территории Вепсовской возвышенности проходила граница последнего оледенения (рис. 1) и почти все озёра на возвышенности ледникового происхождения олиготрофные, поэтому здесь сохранились редкие виды того периода (*Isoëtes echinospora*, *I. lacustris*, *Lobelia dortmanna*), предпочитающих чистые олиготрофные воды.

Географическое положение и ледниковая история Вепсовской возвышенности определяет существование целого ряда северных видов на южной границе распространения. Большинство из них редкие и охраняемые (Красная книга..., 2004). Район Вепсовской возвышенности уникален и достоин сохранения, например, организации единого заказника на данной территории.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-14-00115 и в рамках темы госзадания ИБВВ РАН № 121051100099-5.

ЛИТЕРАТУРА

Красная книга Вологодской области. Том 2. Растения и грибы / отв. ред. Г. Ю. Конечная, Т. А. Суслова Вологда: ВГПУ, изд-во «Русь», 2004. – 360 с.

Bobrov, A. A. High diversity of aquatic *Sparganium* (*Xanthosparganium*, *Typhaceae*) in North Eurasia is mostly explained by recurrent hybridization / A. A. Bobrov, P. A. Volkova, O. A. Mochalova, E. V. Chemeris // Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. – 2023. – Vol. 60. – P. 125746. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2023.125746>.

Fick, S. E. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas / S. E. Fick, R. J. Hijmans // International Journal of Climatology. – 2017. – Vol. 37 (12). – P. 4302–4315.

Grigoryan, M. Yu. Next generation DNA sequencing reveals allopolyploid origin of decaploid *Isoëtes lacustris* (Isoëtaceae) / M. Yu. Grigoryan, A. A. Bobrov, D. F. Brunton, P. A. Volkova, M. D. Logacheva, T. V. Neretina // Aquatic Botany. – 2021. – Vol. 170. – P. 103326. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2020.103326>.

Volkova, A. V. Genetic variability of Eurasian Nuphar species unravels possible routes in which freshwater plants could fill their wide areas / A. V. Volkova, N. G. Arutyunyan, I. A. Schanzer, E. V. Chemeris, A. A. Bobrov // Aquatic Botany. – 2018. – Vol. 145. – P. 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2017.11.006>.

КВАЗИСЕНИЛЬНЫЕ ОСОБИ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В СОСНЯКАХ БРЯНСКОГО ПОЛЕСЬЯ

Н. В. Короткова*, О. И. Евстигнеев**

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

E-mail: natalya-1998-494@mail.ru

**Государственный природный биосферный заповедник «Брянский лес»

E-mail: quercus_eo@mail.ru

Квазисенильные особи – это растения, которые способны длительно существовать на крайне низком уровне жизненности в угнетенном состоянии и переходить к плодоношению при улучшении экологических условий. У деревьев квазисенильные особи известны под названием «торчки» (Смирнова и др., 1984). Благодаря «торчкам», подрост деревьев может долго сохраняться в сообществах в ожидании окон в ярусе древостоя (Evstigneev, Korotkova, 2019). Однако в лесной фитоценологии проблеме квазисенильности деревьев уделяется малое внимание. В связи с этим в работе поставлена задача – проанализировать особенности формирования квазисенильных особей дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в лесных ценозах.

Исследования проводились в сосняках-зеленомошниках Брянского полесья, которое относится к зоне северных широколиственных лесов с небольшим участием ели. Местообитания сосняков по эдафической сетке П.С. Погребняка принадлежат к влажным суборям. У подростка определяли календарный возраст и онтогенетическое состояние. Квазисенильные особи (*qs*), или «торчки», дуба развивались в сосняках, где средняя освещенность в течение дня на уровне груди составляла 7% от полной ($N = 29$, $\sigma = 3.3$).

У квазисенильного подростка из-за недостатка света отмирает почти вся надземная ось, а под землей живыми сохраняются ксилоподий и корень (рис.). Ксилоподий – вертикальная углощипная подземная часть растения, которая сформирована из разросшегося основания надземных побегов и базальной части главного или придаточного корня. Из спящих почек на ксилоподии периодически формируются новые надземные скелетные оси ювенильного или имматурного облика, которые через каждые 10–20 лет снова отмирают. В результате в состав ксилоподия может входить система из многочисленных «пеньков» (базальная часть побегов) с придаточными корнями. «Пеньки» также содержат запас спящих почек, из которых формируется следу-

ющая генерация скелетных осей. Оси сменяют друг друга, и в таком динамическом состоянии растения «ожидают» улучшения освещенности для дальнейшего развития. Биологический смысл перехода подростка в *qs* состояние – отторжение значительной доли многолетних дышащих частей (стволов, ветвей, корней) в условиях дефицита света. Формирование «торчков» включает три последовательных этапа. На первом этапе в зонтиковидной кроне подростка отчуждаются небольшие веточки, на втором – засыхает часть кроны, а на третьем – отмирает вся надземная структура, представленная стволом и кроной. В результате у растений существенно уменьшаются траты на поддерживающее дыхание и появляются дополнительные резервы пластических веществ, которые необходимы для длительного существования при фитоценотическом угнетении.

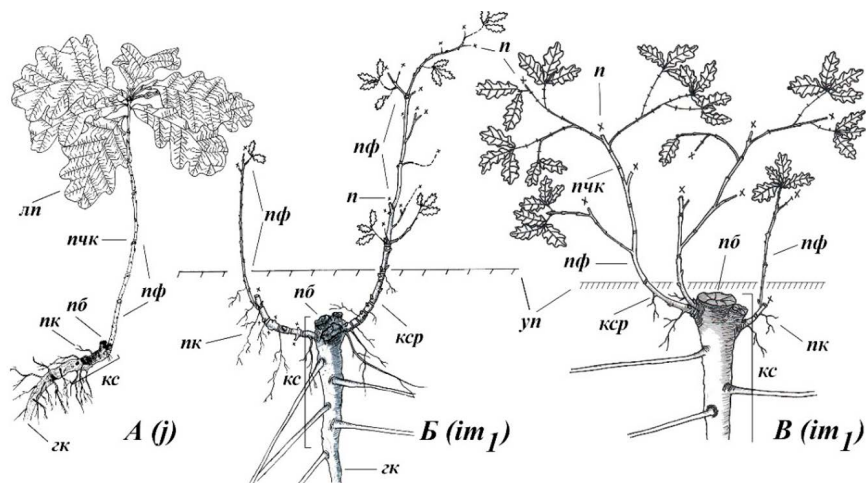


Рис. Варианты квазисенильных особей («торчков») дуба черешчатого: А – одноосные, произошедшие из im_1 особей; Б – двуосные, произошедшие из im_2 особей; В – трехосные, сформированные из v_1 особей. В скобках указано текущее онтогенетическое состояние: j – ювенильное, im_1 – имматурное первой подгруппы. Другие обозначения: гк – главный корень; кс – ксилоподий; кр – ксилоризом; лп – лист полувзрослого типа; п – перевершинивание побега; пб – «пенек», или базальная часть отмершего надземного побега; пк – придаточный корень; пф – побег формирования (скелетная ось), появившийся из спящей почки на ксилоподии; пчк – почечные кольца; уп – уровень почвы. Высота надземной части: А – 44 см; Б – 75 см; В – 65 см.

Большая часть *qs* дубов образуется из имматурных особей первой и второй подгрупп (im_1 , im_2), а меньшая – из виргинильных особей первой подгруппы (v_1). Ювенильный (j) подросток способен переходить в *qs* состояние. У него слабо развит ксилоподий,

который не содержит достаточное число спящих почек, необходимых для формирования «торчков». В qs состоянии не могут переходить также виргинильные особи второй подгруппы (v_2). Их засохшая надземная часть, представленная мощными стволом и кроной, не ломается, а под влиянием силы тяжести выворачивается вместе с ксилоподием и корнем. В структуре qs особей может быть разное число надземных скелетных осей, которые развиваются из спящих почек на ксилоподии. Число осей зависит от биологического возраста растения: если qs особи сформированы из im_1 подроста, то образуются, как правило, одноосные «торчки», если из im_2 – то двуосные, а если из v_1 – то многоосные (рис.). Другими словами, чем мощнее ксилоподий, тем большее число надземных скелетных осей он может «обслужить».

У im_1 , im_2 и v_1 подроста дуба после отмирания надземной оси из спящих почек на ксилоподии сначала образуются одноосные неразветвленные побеги формирования. Такие особи qs происхождения относятся к ювенильному онтогенетическому состоянию. В этом проявляется омоложение имматурного и виргинильного подроста дуба. Длительность пребывания qs особей в j состоянии после «торчкования» небольшая – от 1 года до 8 лет. Подавляющее большинство j растений квазисенильного происхождения на второй год переходят в im_1 состояние. Их побеги формирования (скелетные оси) разветвляются до II, III или IV порядков. Внешний облик надземных осей этих qs дубов не отличается от семенных растений. Средний возраст im_1 растений qs происхождения составляет 51 год. Он почти в два с половиной раза больше возраста im_1 особей семенного происхождения. Через два-три десятка лет после «торчкования» дубы переходят в im_2 онтогенетическое состояние. Порядок ветвления скелетных осей этих особей – IV, V или VI. Надземная часть этих qs растений также не отличается от семенного подроста. Средний возраст im_2 дубов qs происхождения равен 57 годам. Он в два раза больше возраста im_2 растений семенного происхождения. Следует отметить, что дубы qs происхождения развиваются быстрее, чем семенные особи. Так, если семенной подрост достигает im_2 состояния в среднем за 31 год, то дуб после «торчкования» – за 24 года. Это связано с тем, что у qs растений корневая система мощнее семенных.

Изучение дуба крайне низкой жизненности показывает, что один из способов длительного переживания подростом неблагоприятных ценотических условий – переход в qs состояние. Благодаря «торчкованию» дуб может подолгу ожидать улучшения освещенности в лесном сообществе. Если в течение нескольких

десятков лет световая обстановка не улучшится, то подрост дуба может вновь перейти в *qs* состояние.

Исследование выполнено в рамках темы НИР молодежной лаборатории ЦЭПЛ РАН «Климаторегулирующие функции и биоразнообразии лесов» (№ 122111500023-6).

ЛИТЕРАТУРА

Смирнова, О. В. Квазисенильность как одно из проявлений фитоценологической толерантности растений / О. В. Смирнова, А. А. Чистякова, И. И. Истомина // Журн. общ. биол. – 1984. – Т. 45. – № 2. – С. 216–225.

Evstigneev, O. I. Features of undergrowth development in eastern European forests / O. I. Evstigneev, N. V. Korotkova // Russian Journal of Ecosystem Ecology. – 2019. – Vol. 4 (2). – P. 1–23.

БПЛА-СЪЁМКИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЛЕСНОГО ПОКРОВА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Т. А. Мыльникова, В. В. Елсаков, А. Ю. Боровлёв, В. М. Щанов

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук
E-mail: mylnikova.t.a@ib.komisc.ru

В России находится 20% всех лесных ресурсов планеты. Леса выполняют стабилизирующую, формирующую и ресурсную функции. В условиях возрастающего всестороннего антропогенного воздействия, сохранение экологического и ресурсного потенциала становится важной задачей.

Все большее предпочтение в исследованиях лесов отдается данным дистанционного зондирования. В то же время наблюдается тенденция перехода от спутникового мониторинга к более «наземным» методам, а именно к использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Материалы аэрофотосъемки, полученные в ходе исследований структуры полога древостоев, позволяют более надежно и уверенно переходить от видимых и измеряемых показателей к невидимым, но необходимым показателям для составления экологической характеристики лесных насаждений (Барталев и др., 2016).

Цель исследования – изучить эффективность определения видового состава леса по спектральным показателям, полученным с помощью БПЛА.

Объектом исследования является Ляльский лесозоологический стационар (координаты центра: 62° 15' 51.12" с.ш., 50° 42' 10.6" в.д.). Он располагается на территории Княжпогостского района Республики Коми, в секторе среднетаежной лесорастительной зоны. Стационар входит в сеть мониторинговых площадок важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Российская система климатического мониторинга». В качестве материалов исследования использовались RGB-снимки, сделанные с помощью БПЛА «Geoscan 401». Снимки и полученные на их основе данные обрабатывались в программах QGIS, Erdas Imagine и ENVI. Полевые данные представлены в виде лесотаксационных и геоботанических описаний, собранных летом и осенью 2023 года. Статистическая обработка полевых данных проводилась в Microsoft Excel и R Studio.

Первым этапом работы было выделение крон. Производить сегментацию изображения становится легче из-за увеличения контраста между кронами разных деревьев. Для этого искусственно увеличили яркость каждого канала по следующей формуле:

$$Intensity = \sqrt{Red^2 + Green^2 + Blue^2}$$

Однако, если дерево с большой, многоярусной кроной, то такой способ увеличивает количество лишних сегментов. Чтобы решить проблему с распадом кроны, мы взяли центральные полигоны с верхушками деревьев, которые имели самые высокие показатели яркости. Затем, постепенно приращивали соседние сегменты, с равным или меньшим значением яркости. Расширение производилось до тех пор, пока не достигнет порогового значения. Таким образом, на исследуемом участке нам удалось выделить 5844 кроны, в то время как таксация леса показала, что на исследуемом участке всего 1141 дерево. При более подробном изучении можно увидеть артефакты многоярусных крон, которыми чаще всего обладают лиственные породы.

Второй этап работ включает определение породного состава насаждений по спектральным характеристикам. Для этого были привлечены лесотаксационные описания с координатами пород деревьев. Сняв значения красного, зеленого и синего каналов с крон разных пород деревьев и показав их на ординационной диаграмме многомерного неметрического шкалирования (рис.), можно увидеть, что четко выделяется сухостой и сосна (*Pinus sylvestris*). Спектральные показатели ели (*Picea obovata*) и пихты (*Abies sibirica*) имеют похожие значения, поэтому их объединили в класс темнохвойные. Такая же ситуация наблюдается с лиственными породами – березой (*Betula pubescence*) и осиной (*Populus tremula*).

Третий этап работ подразумевал верификацию результатов. Для корректной оценки классификации, использовался другой участок тестового полигона, на котором также были проведены лесотаксационные работы, и таким же образом определили их породный состав. Результаты верификации представлены в таблице, где можно увидеть, что общая сходимость результатов составляет около 70%. Наибольший процент ошибки наблюдается у сосны, но это объясняется ее малой встречаемостью на участке для проверки.

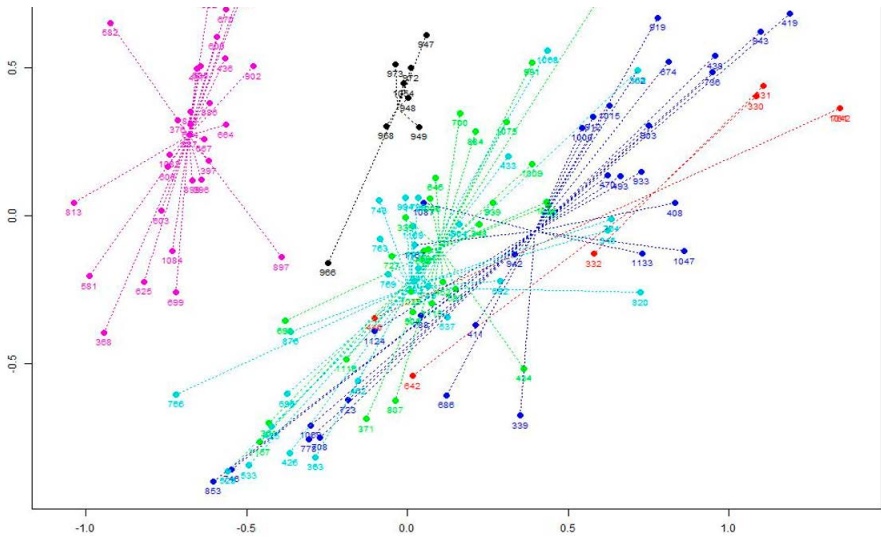


Рис. Ординационная диаграмма многомерного неметрического шкалирования (NMS), отражающая параметры мультиспектральных летней и осенней съемок отдельных пород деревьев.

Таблица

Оценка сходимости

Расчитанные кроны	сухой	лиственные	сосна	темнохвойные	% ложного отнесения
сухой	20	1	2	5	28.6
лиственные	1	206	4	55	22.7
сосна	2	4	51	19	32.9
темнохвойные	2	23	127	275	35.6
% ложного отнесения	20.00	11.97	72.28	22.32	69.3

В этом исследовании изучалась эффективность использования данных БПЛА для определения породного состава леса. Исследование могло бы предложить более экономный и ускоренный процесс таксации леса. Ниже представлены основные выводы:

1) использование ярких характеристик изображения для выделения кроны позволяет точно определить лишь каждую 5

крону. Это связано с породой и ярусностью дерева: хвойные породы определяются легче, чем лиственные.

2) достоверное различие спектральных величин отмечено в отношении большинства древесных пород, минимальные различия наблюдали между елью и пихтой.

3) использование летней съемки позволяет достичь точности выделения породного состава крон не менее 70%.

ЛИТЕРАТУРА

Барталев, С. А. Спутниковое картографирование растительного покрова России / С. А. Барталев, В. А. Егоров, В. О. Жарко, Е. А. Лупян, Д. Е. Плотников, С. А. Хвостиков, Н. В. Шабанов. – М.: ИКИ РАН, 2016. – 208 с.

ДИНАМИКА ЗАПАСОВ ДИКОРАСТУЩИХ ПИЩЕВЫХ И ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПОСЛЕ ВЕТРОВАЛОВ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ТЕМНОХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

И. А. Панин

Уральский государственный лесотехнический университет

E-mail: paninia@m.usfeu.ru

Значительные территории северо-запада Свердловской области занимают темнохвойные леса, которым свойственны ветровалы, особенно в спелых и перестойных древостоях. Повреждение ветром приводит к изменениям лесной среды, на которое реагируют все компоненты насаждений, следовательно меняются и запасы дикорастущих пищевых и лекарственных растений. На территории России данный вопрос практически не изучен. Вместе с тем, сведения о ресурсах дикорастущих пищевых и лекарственных растений и их изменениях под воздействием природных и антропогенных факторов необходимы для таксации недревесных ресурсов, а также организации и планирования работы предприятий заготовителей дикоросов (Годовалов и др., 2022). Цель исследования – изучение изменений запасов пищевых и лекарственных ресурсов на ветровальных площадях Свердловской области.

В основу положен метод пробных площадей (ПП). Работы выполнялись в период с 2015 по 2023 гг., на территории Карпинского лесничества Свердловской области. Для размещения ПП были выбраны ветровальные площади двух наиболее распространенных для темнохвойных насаждений района исследования типов леса: ельник мшистый (Е мш) и ельник зеленомошно-ягодный (Е. зм. яг.). В каждом из них, в год возникновения ветровала было заложено по 1 ПП. Доля ветровального отпада в обоих случаях превышает 90%. На ПП производился сбор полевых данных: определение видового состава растений живого почвенного покрова (ЖНП), установление проективного покрытия, надземной фитомассы в абсолютно сухом состоянии и текущий урожай плодов. Использовались традиционные для данного вида работ методики (Бунькова и др., 2020; Панин, Белов, 2022). В последующие годы проводились повторные сборы данных в мониторинговом режиме для отслеживания динамики происходящих изменений. На объекте в Е. мш. период наблюдений охватывает 9 лет, данные получены в 4 повторностях, в Е. зм. яг. 5 лет и собраны в 5 повторностях.

Основными видами ягодных растений ЖНП на ветровальных площадях являются черника *Vaccinium myrtillus* L. и брусника

Vaccinium vitis-idaea L. Лекарственные растения представлены 13 видами. Наибольшими запасами характеризуются зверобой продырявленный *Hypericum perforatum* L., валериана лекарственная *Valeriana officinalis* L. и иван-чай узколистный *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.

Согласно данным (рис. 1 и 2) в динамике наблюдаемых изменений прослеживается несколько закономерностей:

1. В ветровальный год совокупные запасы лекарственных растений незначительны. В течении нескольких лет после ветровала значительно увеличивается надземная фитомасса травостоя, в том числе лекарственных растений. Связь между давностью возникновения и фитомассой лекарственных растений линейная, положительная, имеет высокую тесноту. Увеличение наблюдается весь мониторинговый период. При этом, общая фитомасса ЖНП сперва увеличивается, достигает максимума спустя 3–4 года, а после снижается, что вероятно связано с затенением от разрастающегося подроста и подлеска.

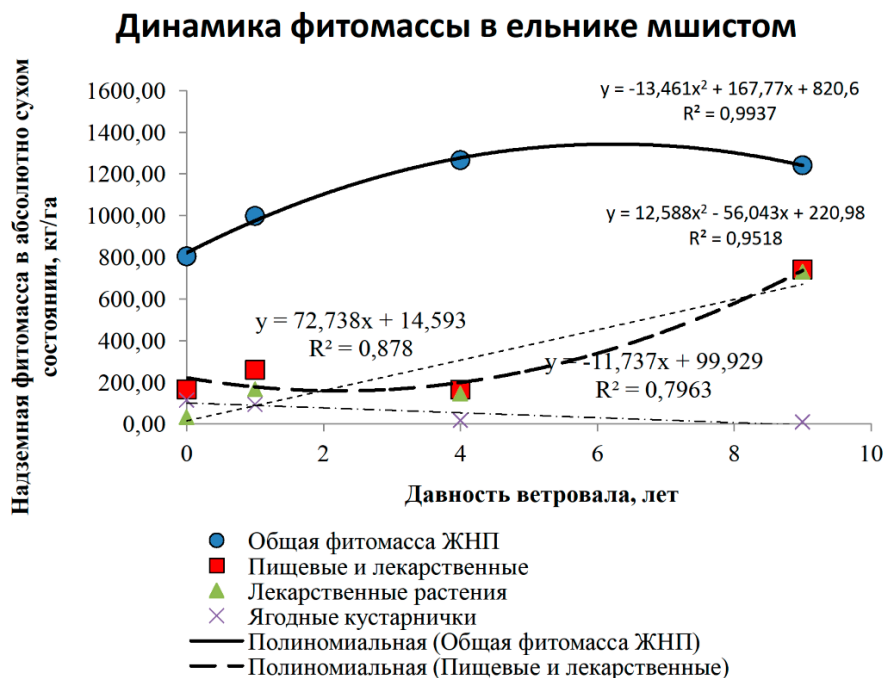


Рис. 1. Динамика фитомассы в ельнике мшистом.

2. Первый год после ветровала в ЖНП обильно представлены ягодные кустарнички, продуцирующие в год до 36.0 кг/га. Постепенно, они вытесняются травянистой растительностью. В условиях Е. зм. яг. их фитомасса снижается более чем в два раза

за 5 лет, в Е. мш. в течении 8 лет черника и брусника практически исчезает. Связь между давностью возникновения и фитомассой ягодных кустарничков линейная, отрицательная, тесная.

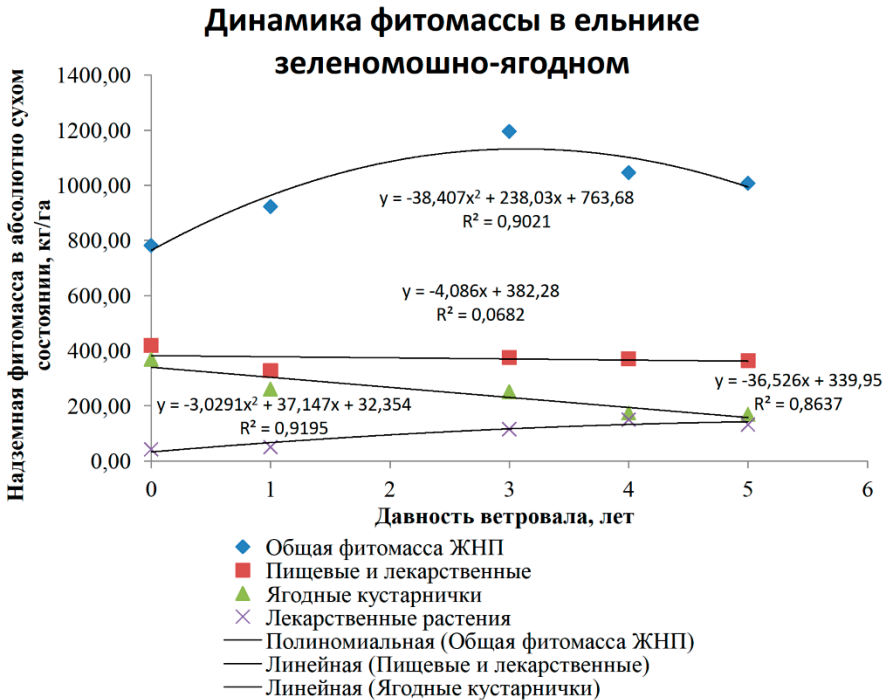


Рис. 2. Динамика фитомассы в ельнике зеленомошно-ягодном.

Таким образом, в темнохвойных насаждениях на ветровальных площадях существенно изменяются ресурсы дикорастущих пищевых и лекарственных растений. Ягодники деградируют, теряется их заготовительный потенциал, одновременно увеличиваются ресурсы травянистых лекарственных растений.

ЛИТЕРАТУРА

Бунькова, Н. П. Основы фитомониторинга : учеб. пособие. Изд. 3-е дополненное и переработанное / Н. П. Бунькова, С. В. Залесов, Е. А. Зотеева, А. Г. Магасумова. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. – 90 с.

Годовалов, Г. А. Недревесная продукция леса : учебник для вузов / Г. А. Годовалов, С. В. Залесов, А. С. Коростелев. 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, – 2022. – 351 с.

Панин, И. А. Определение ресурсов дикорастущих пищевых и лекарственных растений: учебное пособие / И. А. Панин, Л. А. Белов – Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. – 87 с.

РАЗНООБРАЗИЕ АЛЬГОФЛОРЫ ОЗЕРА РУБСКОГО ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

П. А. Сторожева, Л. Ю. Минеева

Ивановский государственный университет

Email: pteivani@mail.ru

Email: lmin1@mail.ru

Озеро Рубское расположено в 40 км к юго-западу от г. Иваново и в 15 км южнее от г. Тейково, в окрестностях с. Золотниковская Пустынь и д. Синяя Осока. Озеро имеет координаты: 56°43'31" с.ш. и 40°36'42" в.д. Оно располагается на водоразделе рек Нерли и Уводи, в юго-восточной части Тейковского торфяного массива, занимающего площадь в 7900 га. Озеро Рубское – самое большое озеро Ивановской области. Основные параметры озера, согласно измерениям 2012 г., следующие: длина – 2980 м; максимальная ширина – 1550 м; общая площадь акватории – 295 га; средняя глубина – 5.3 м; максимальная глубина – 16.5 м; длина береговой линии – 7250 м; объем воды – 15.7 млн м³. Рубское озеро – реликтовое озеро ледникового происхождения. Некогда обширное понижение площадью около 8000 га было занято тальми водами отступающего ледника.

Озеро Рубское относится к олиготрофным, его вода характеризуется относительно слабой минерализацией (50 мг/л), низким содержанием кальция, магния, нитратного азота и растворенного фосфора. Вода озера чистая, прозрачная (прозрачность 3–4.5 м), слабо окрашена в голубовато-зеленоватый цвет, отличается высоким содержанием кислорода (5.8–7.1 мг/л, что составляет 62–75% нормального насыщения). Территория Рубского озера относится к особо охраняемым природным территориям (Постановление, 2014).

Объектом нашего исследования являются водоросли озера разных экологических групп. Исследование проводилось на Рубском озере непосредственно в акватории и по береговой линии в период июнь–июль 2022–2023 годов. Одной из задач в нашей работе было проведение систематического анализа выявленных водорослей. За время исследования было собрано и определено 50 видов водорослей, относящихся к 7 отделам: Диатомовые водоросли (*Diatomeae*), Зеленые водоросли (*Chlorophyta*), Золотистые водоросли (*Chrysophyta*), Пирофитовые водоросли (*Pyrrophyta*), Синезеленые водоросли (*Cyanophyta*), Харовые водоросли (*Charophyta*), Эвгленовые водоросли (*Euglenophyta*).

В ходе работы был проведен анализ водорослей по морфологической дифференциации талломов. На основании анализа была составлена диаграмма (рис. 1), отражающая соотношение между структурами таллома собранных водорослей. Самой многочисленной по количеству видов структурой в альгофлоре озера является коккоидная (56%). На втором месте находится трихальная структура (24%). Самыми малочисленными являются монадная (14%), пальмеллоидная (4%), гетеротрихальная (2%), структуры талломов. Коккоидная, монадная, пальмеллоидная структуры представлены одноклеточным и колониальным уровнем организации таллома. Трихальная и гетеротрихальная структуры представлены многоклеточным уровнем организации таллома.

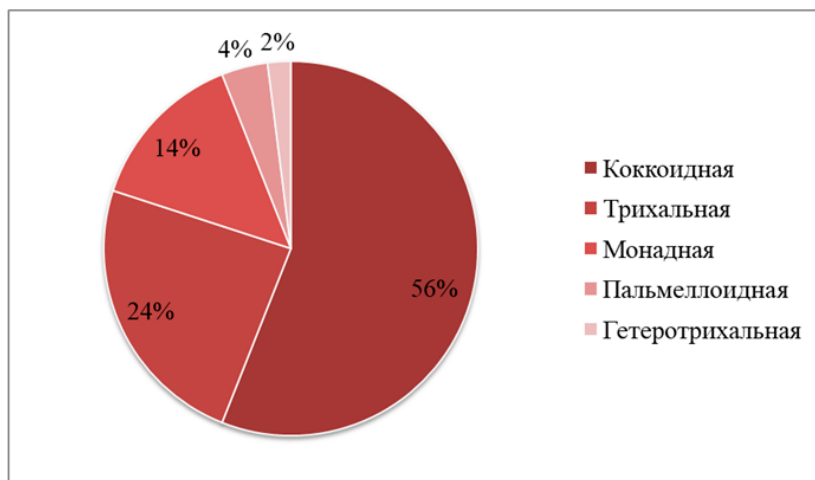


Рис. 1. Соотношение видов водорослей по структуре талломов.

В ходе исследования также был проведен анализ водных экологических групп водорослей. На основании анализа была составлена диаграмма (рис. 2), отражающая соотношение между экологическими группами водорослей. Преобладающей (по количеству видов) экологической группой являются обитатели планктона. Они составляют 62%. Чуть меньше видов приходится на водоросли обрастаний (28%). Малочисленной экологической группой является бентос (10%).

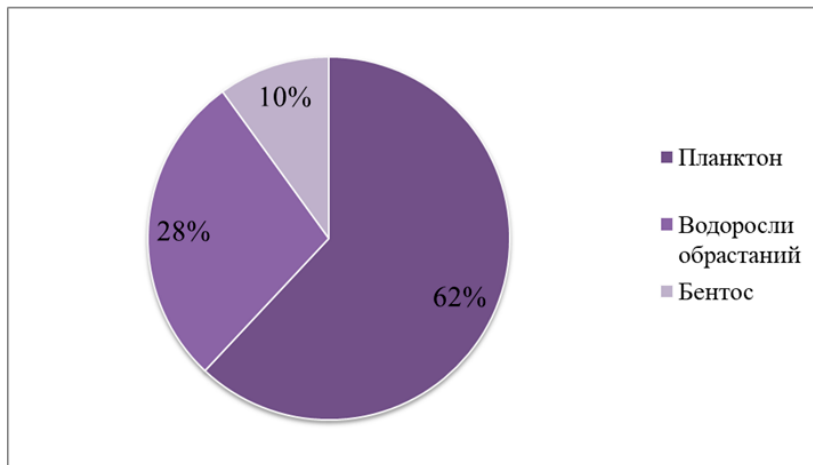


Рис. 2. Соотношение видов водорослей по экологическим группам.

Одной из приоритетных задач нашего мониторинга было выявление редких видов водорослей Рубского озера. Ранее в озере был обнаружен *Batrachospermum gelatinosum* (L.) D.C. [=*B. Moniliforme* Roth], это единственное место нахождения вида в Ивановской области. Вид занесен в Красную книгу региона (Красная книга..., 2020).

В ходе данного исследования был выявлен вид *Nitellopsis obtuse* (Desvauxin Lois.) Gr. [=*Chara stelligera* Bauerin Reich.; *Nitella stelligera* (Bauerin Reich.) A. Br.; *Nitellopsis stelligera* (Bauer in Reich.) Ну; *Tolypellopsis stelligera* (Bauer in Reich.) Mig.] из отдела *Charophyta*. На территории России этот вид распространен весьма sporadически (Голлербах, Красавина, 1983). Общий ареал весьма широк и охватывает всю территорию Европы и Азии между 18° и 65° с. ш. (Urbaniak, 2003). Природоохранный статус вида: Редкий. Научное значение: Вид с ареалом, что уменьшается. Реликт. Причины изменения численности: Антропогенная и рекреационная нагрузка (заиление глубоких озер, разрушение биотопов поймы рек, эвтрофирование). Режим сохранения популяций и мероприятия по охране: Не охраняется. Необходимо формирование альгорезерватов в местах произрастания. Хозяйственное и коммерческое значение: Формирует ассоциативные группировки для развития беспозвоночных и размножения рыб.

Поскольку *N. obtusa* носит охранный статус во многих странах (Urbaniak, 2003), и его численность сокращается, мы реко-

мендуем включить его в Красную книгу Ивановской области. Необходимо сохранение существующих и поиск новых местообитаний.

В дальнейшем наше исследование будет продолжено.

ЛИТЕРАТУРА

Голлербах, М. М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Харовые водоросли — Charophyta / М. М. Голлербах, Л. К. Красавина. Вып. 14. — М.: Советская наука, 1983. — 190 с.

Красная книга Ивановской области. Т. 2: Растения и грибы. Изд-е 2-е / под ред. Е. А. Борисовой, Л. Ю. Минеевой. — Тамбов: ООО «ТПС», 2020. — 256 с.

Постановление Правительства Ивановской области от 15 апреля 2014 года N148-п. О памятнике природы Ивановской области «Озеро Рубское».

Urbaniak, J. *Nitellopsis obtusa* (Desv. in Loisel.) J. Grooves 1919 / J. Urbaniak // Charophytes of the Baltic Sea / Schubert, H. & Blindow, I. (eds.). — The Baltic Marine Biologists Publication No. 19, Gantner Verlag, 2003. — P. 216–222.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОКОГОРНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НА г. СЕРЕБРЯНСКИЙ КАМЕНЬ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ) ЗА 20-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

М. В. Терентьева*, О. А. Громова, П. А. Моисеев***

*Институт экологии растений и животных
Уральского отделения Российской академии наук

E-mail: Terenteva_MV@ipae.uran.ru

E-mail: Moiseev@ipae.uran.ru

**Уральский государственный лесотехнический университет

E-mail: kislorodna.maska@gmail.com

Влияние изменения климата на состояние высокогорных систем активно исследуется с середины XX века (Горчаковский, 1975; Pauli et al., 1996; Elmendorf et al., 2012). Основными факторами продвижения границ растительных поясов вверх по склонам считаются изменения термического режима и режима увлажнения (Pauli et al., 1996; Körner, 2012; Григорьев и др., 2021).

Горно-тундровые сообщества включают в себя значительное количество редких и эндемичных видов, что обуславливает значимость их вклада в биоразнообразии флоры высокогорий (Дёгтева и др., 2014). Доля эндемичных видов во всей флоре Уральской горной страны составляет 5% (Горчаковский, 1969; Баландин, 2023), горные тундры занимают до 80–90% в зависимости от региона. Ранее проводимые исследования для Южного Урала показали, что при переходе от горно-тундрового к горнолесному поясу закономерно меняется эколого-ценотическая структура растительных сообществ (Ерохина, Соковнина, 2020).

Цель работы: оценить изменения в растительном покрове на мониторинговых площадках в течение последних 20 лет в пределах подгольцового пояса на склонах гор Северного Урала.

В 2003 и 2023 годах на северном склоне г. Серебрянский Камень в пределах подгольцового пояса были проведены описания растительного покрова на мониторинговых площадках. Площадки были заложены в 2003 г. на трех уровнях в зависимости от сомкнутости древостоев. Первый уровень размещался на границе редины с сомкнутостью крон 5–10%. Второй уровень, был расположен на границе редколесий с сомкнутостью крон 20–30%. Третий уровень был приурочен к верхней границе сомкнутых лесов с сомкнутостью крон деревьев 40–50%. На каждом уровне было заложено по 3 макроплощадки 20x20 м. Макроплощадки в свою очередь были разделены на 4 мезоплощадки 10x10 м.

Оценка растительного покрова осуществлялась в пределах каждой мезоплощадки посредством присвоения процентной доли проективного покрытия травяно-кустарничковых, кустарниковых и древесных видов.

Для анализа термофилизации растительных сообществ каждому виду был присвоен ранг (от 1 до 6) в зависимости от распространения вида в пределах определенного диапазона высотных поясов. Термофилизация – это процесс сокращения холодостойких видов, произрастающих в поясе холодных гольцовых пустынь, и увеличения теплолюбивых видов, произрастающих в горнолесном поясе (Gottfried et al., 2012).

1 ранг присваивался видам, произрастающим в нивальном поясе; 2 ранг присваивался видам, произрастающим в верхней части горно-тундрового пояса; 3 ранг присваивался видам, произрастающим в средней части горно-тундрового пояса; 4 ранг присваивался видам, произрастающим в нижней части горно-тундрового пояса; 5 ранг присваивался видам, произрастающим в подгольцовом поясе и 6 ранг присваивался видам, произрастающим в горно-лесном поясе.

После присвоения ранга видам высчитывался ранговый показатель термофильности для каждой мезоплощадки на основе данных по проективному покрытию травяно-кустарничковых видов по формуле:

$$R_{\text{пл}} = \frac{\sum(A_j \times R_{\text{вд}})}{\sum A_j},$$

где $R_{\text{пл}}$ – ранг площадки; $R_{\text{вд}}$ – ранг вида; A_j – процентное обилие вида на площадке.

Согласно оценке ранговых показателей, за 20-летний период на 3-ем уровне показатель термофильности снизился в среднем с 5.53 до 5.28. Ценотическая и экологическая структуры сохраняются. При этом отмечается статистически значимое увеличение доли участия опушечно-лесных и высокогорных ($p < 0.001$) видов и ксеромезофитов ($p < 0.001$).

На 2-ом уровне за исследуемый период показатель термофильности увеличился в среднем для уровня на 0.2. Это свидетельствует о постепенном переходе к лесному типу сообществ. В ценотической структуре наблюдается тенденция увеличения доли участия лесных видов ($p = 0.056$) и снижения доли высокогорных ($p = 0.002$), луговых ($p < 0.001$) и опушечно-болотных ($p = 0.003$) видов. В экологической структуре статистически значимых изменений не отмечается.

Наименьшие изменения по показателю термофильности отмечаются для 1-ого уровня. При этом, отмечается перестройка

ценотической структуры. Доля участия высокогорных видов ($p = 0.035$), луговых ($p = 0.016$), а также опушечно-луговых и скальных ($p < 0.001$) сокращается. Статистически значимо увеличивается доля участия опушечно-лесных видов ($p = 0.005$). В экологической структуре отмечается тенденция к снижению психрофитов и ксеромезофитов, и развитию мезофитов и гигрофитов.

Таким образом, на обследованных площадях в последние 20 лет отмечаются изменения видового состава травяно-кустарничкового яруса. При этом продвижение более теплолюбивых видов и увеличение термофильности наблюдается только на среднем уровне. Для экологической и ценотической структуры отмечается стабильное состояние, в особенности на среднем и нижнем уровнях. На первом уровне сохраняются холодоустойчивые виды, относящиеся к разным ценотическим группам.

ЛИТЕРАТУРА

- Баландин, С. В. Флора Тылайско-Конжаковско-Серебрянского горного массива (Северный Урал) / С. В. Баландин // Разнообразие растительного мира. – 2023. – Вып. 19. – № 4. – С. 4–35.
- Горчаковский, П. Л. Основные проблемы исторической фитогеографии Урала / П. Л. Горчаковский // Тр. Ин-та экологии растений и животных УФАН СССР. – Вып. 66. – 1969. – С. 1–286.
- Горчаковский, П. Л. Растительный мир высокогорного Урала / П. Л. Горчаковский. – М.: «Наука», 1975. – 283 с.
- Дёгтева, С. В. Сравнительный анализ ценофлор горных тундр западного макросклона Северного и Приполярного Урала / С. В. Дёгтева, Е. Е. Кулюгина, Ю. А. Дубровский, А. Б. Новаковский // Теоретическая и прикладная экология. – 2014. – № 1. – С. 16–21.
- Ерохина, О. В. Реакция горно-тундровых растительных сообществ Урала на внедрение *Juniperus sibirica* Burgsd / О. В. Ерохина, С. Ю. Соковнина // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2020. – № 12. – С. 16–26.
- Elmendorf, S. C. Plot-scale evidence of tundra vegetation change and links to recent summer warming / S. C. Elmendorf, G. H. R. Henry, R. D. Hollister // Nature Climate Change. – 2012. – Vol. 2. – P. 453–457.
- Gottfried, M. Continent-wide response of mountain vegetation to climate change / M. Gottfried, H. Pauli, A. Futschik et al. // Nature Climate Change. – 2012. – Vol. 2. – P. 111–115.
- Körner, C. Alpine Treelines. Functional Ecology of the Global High Elevation Tree Limits / C. Körner. – Springer Basel, 2012. – 220 p.
- Pauli, H. Effects of climate change on mountain ecosystems – upward shifting of alpine plants / H. Pauli, M. Gottfried, G. Grabherr // World Resource Review. – 1996. – Vol. 8. – № 3. – P. 382–390.

ЭПИКСИЛЬНАЯ ФЛОРА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ СМЕШАННЫХ ЛЕСОВ ЦЛГЗ (ТВЕРСКАЯ ОБЛ.)

Г. Л. Фрейдин*, Е. В. Кушневская**

*Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: gregory.maclion@gmail.com

**Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С. М. Кирова

E-mail: elly.kushn@gmail.com

Эпиксильная растительность – это растительность на мертвой древесине, умеренно обособленная часть лесного фитоценоза. Её рассматривают как синузию, совокупность синузий (Исакова, 2009), микрогруппировки (Кушневская, 2018; Фрейдин, 2022) или отдельные растительные сообщества (Гапон, 2009). На структуру эпиксильной растительности влияют ряд специфических факторов, связанных с характеристикой ее субстрата – крупными древесными остатками (КДО).

Центрально-лесной государственный заповедник (ЦЛГЗ) расположен в Тверской области, в юго-западной части Валдайской возвышенности, в верховьях реки Межи. Значительный процент территории заповедника занимают хвойно-широколиственные леса. Изучение эпиксильной растительности было проведено в ЦЛГЗ в 2022–2023 годах преимущественно в елово-мелколиственных лесах с участием широколиственных пород.

Изучение эпиксильной растительности проводилось по ранее разработанной оригинальной методике (Фрейдин, 2022). На КДО, находящихся в пределах пробных площадей (ПП) 10Ч10 м, была описана эпиксильная растительность на учетных площадках 12 см диаметре. На учетных площадках было определено проективное покрытие каждого вида растений и лишайников. Также оценивались характеристики ствола в точке описания: положение описания (боковое / верхнее), диаметр, плотность/рыхлость древесины и процент покрытия коры. В лабораторных условиях была определена древесная порода КДО по микроскопическим признакам древесины, и видовая принадлежность мохообразным анатомо-морфологическим методом. Всего было заложено 8 ПП, и сделано 292 описания на учетных площадках на 32 КДО.

КДО относятся к 6 древесным породам – *Populus tremula* (15 КДО), *Alnus incana* (8), *Betula* sp. (4), *Ulmus glabra* (2), *Sorbus aucuparia* (2) и *Salix caprea* (1). На валеже лиственных пород отмечены 66 видов: 39 видов мхов, 15 видов печеночников, 5 видов лишайников и 7 видов сосудистых растений. Чаще всего в описаниях встречалась *Sanionia uncinata* (встречаемость 54%).

Виды эпиксильной растительности были разделены на 11 эколого-субстратных групп, принадлежность видов определялась по литературным данным (Кушневецкая, 2018; Сакович, 2014). Наиболее крупная и по количеству видов, и по среднему суммарному проективному покрытию – мезофитные генералисты (мультисубстратные виды). К этой группе относятся виды рода *Sciuropygium*, *Brachythecium salebrosum*, *Plagiomnium cuspidatum* и другие. Вторая по размеру группа – эпиксильные мезофиты, куда входят *Callicladium haldanianum*, *Herzogiella seligeri*, *Lophocolea heterophylla* и многие специфические эпиксильные печеночки. Выделяется на фоне других группа эвритоных (индифферентных к условиям увлажнения) генералистов, где лишь два вида, однако один из них – *Sanionia uncinata*, наиболее частый и обильный вид. Несколько других групп вероятнее всего случайны для мертвой древесины – например, гигромезофитные напочвенные и ксеромезофитные генералисты.

Таблица 1

Число видов и среднее суммарное проективное покрытие (Ср. Σ пп (%)) эколого-субстратных групп в составе эпиксильных микрогруппировок.

Группы	Эвритоные		Гигромезофитные		Мезофитные		Ксеромезофитные	
	Ср. Σ пп (%)	Число видов	Ср. Σ пп (%)	Число видов	Ср. Σ пп (%)	Число видов	Ср. Σ пп (%)	Число видов
Генералисты	20	2	–	–	28	18	1	3
Напочвенные	–	–	0.1	3	4	7	–	–
Эпифитные	–	–	–	–	7	8	2	4
Эпиксильные	1	2	–	–	18	12	2	3

Для оценки влияния факторов на структуру эпиксильной растительности была построена ординация методом неметрического многомерного шкалирование. Как видно из таблицы 2, все факторы, кроме положения описания, значимо влияют на структуру эпиксильной растительности, однако значения коэффициента детерминации во всех трех случаях сравнительно невысоки – менее 15%.

Ординация показывает, что микрогруппировки с большим обилием эпифитов приурочены к более покрытым корой участкам стволов, а с большим обилием сосудистых растений и напочвенных мхов – к наименее плотным участкам. На схеме ординации линии увеличения значения факторов покрытия корой и рыхлости древесины направлены противоположно, что отражает основной тренд разрушения КДО. Ось этих факторов коррелирует с осью наибольшего варьирования (NMDS1).

Таблица 2

Влияние факторов на структуру эпиксильной растительности

Фактор	Коэффициент детерминации, R ²	Уровень значимости, p-value
Диаметр ствола	0.04	0.003
Плотность древесины	0.13	0.001
Покрытие корой	0.13	0.001
Древесная порода	0.08	0.001
Положение уч. площадки	0.01	0.584

Подобная приуроченность эпифитов и напочвенных видов к разным частям оси связанной с разрушением древесины отмечается во многих работах, для разных территорий и условий среды. Нередко это интерпретируется как динамика эпиксильной растительности. Является ли в данном случае такой паттерн следствием существования микросукцессии – предмет будущего исследования.

Авторы благодарят администрацию ЦЛГЗ, в лице заместителя директора по научной работе Шуйской Е. А., за помощь в организации полевых работ.

ЛИТЕРАТУРА

Гапон, С. В. Епiкcильнi брiоугруповання природно-заповiдних територiй пiвдня лiсостепу України / С. В. Гапон // Вiсник Днiпропетровського унiверситету. Біологія. Екологія. – 2009. – Вип. 17. – Т. 1. – С. 16–24.

Исакова, Н. А. Видовое синузильное разнообразие листостебельных мхов восточного склона Ильменских гор / Н. А. Исакова. – Екатеринбург, 2009. – 128 с.

Кушневская, Е. В. Сукцессии эпиксильной растительности в хвойных лесах северо-запада России: дис. ... канд. биол. наук. – СПб, 2018. – 223 с.

Сакович, А. А. Биоэкологическая база данных мохообразных Беларуси / А. А. Сакович, Г. Ф. Рыковский // Актуальные проблемы экологии: материалы X международного науч.-практ. конф (Гродно, 1-3 окт. 2014г.) Ч. 1 / ГрГУ имени Я. Купалы; редкол.: В.Н. Бурдь (гл. ред.) [и др.]. – Гродно, 2014. – С. 30–40

Фрейдин, Г. Л. Структура эпиксильной растительности дубравы «на Ворскле» (заповедник «Белогорье», Белгородская область) / Г. Л. Фрейдин // Флора и растительность Центрального Черноземья – 2022 : Материалы межрегиональной научной конференции, посвященной 140-летию со дня рождения основателя Центрально-Черноземного заповедника профессора В. В. Алехина. – Заповедный, 2022. – С. 184–188.

**ЛИШАЙНИКИ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ
(*LARIX SIBIRICA* LEDEB.)
В ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ
ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА
(РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)**

С. Ю. Чиркова*, В. Н. Тарасова**

*Петрозаводский государственный университет

E-mail: s9216226175@yandex.ru

**Ботанический институт им. В. Л. Комарова Российской академии наук

E-mail: tarasova1873@gmail.com

Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) – хвойное растение из семейства Сосновые; представляет собой крупное дерево высотой 25–45 м, с высоко поднятой конусовидной или цилиндрической кроной и диаметром ствола до 80–100 см. По своей экологии лиственница пожаро-, морозо- и засухоустойчива, светолюбива, малотребовательна к богатству почвы.

На территории Республики Карелия *Larix sibirica* – охраняемый вид (Красная книга..., 2020), естественные древостои с её участием произрастают только на юго-востоке региона, в Пудожском районе, при этом по северо-восточному берегу оз. Водлозера проходит северо-западная граница ее ареала в Евразии. Искусственные посадки в Петрозаводском городском округе (ПетрГО) встречаются в г. Петрозаводске (ПТЗ) – в парках и аллеях, а также в Ботаническом саду Петрозаводского государственного университета (БС ПетрГУ), которые были высажены во второй половине прошлого века.

Целью настоящей работы является изучение видового разнообразия лишайников и эпифитного лишайникового покрова на стволах лиственницы сибирской в сравнительном аспекте:

– на территории городской застройки, подверженной интенсивному атмосферному загрязнению, основную роль в котором играет автотранспорт;

– в БС ПетрГУ, расположенном вдали от прямого воздействия загрязнения.

Работа выполнена на 17 пробных площадях (ПП): 14 – в ПТЗ и 3 – в БС ПетрГУ. На каждой ПП обследовалось по 5 деревьев, для которых регистрировали высоту (м) и диаметр ствола у основания дерева и на высоте 1.3 м от поверхности почвы (см). Описания эпифитного покрова выполнены при помощи рамки 10×20 см, у основания дерева и на высоте 1.3 м с южной и северной сторон

ствола. В месте описания регистрировали видовое разнообразие и покрытие лишайников, угол наклона поверхности ствола, отбирали образцы корки для определения величины pH. Вне описаний вели учет и отбор образцов всех видов лишайников на стволах и ветвях на высоте 0–2 м.

Всего в пределах ПетрГО описано 90 деревьев, выполнено 360 описаний эпифитного покрова и определена кислотность в 212 пробах корки.

В результате исследования на лиственнице сибирской в ПетрГО обнаружено 63 вида лишайников, которые относятся к 9 порядкам, 20 семействам и 35 родам. Больше половины видов (60%) принадлежит к порядку *Lecanorales* (он представлен 7 семействами, 20 родами и 38 видами), 14% – приходится на порядок *Calicales* (9 видов) и 8% – на *Umbiliciales* (5). Ведущими семействами являются: *Parmeliaceae* (16 видов, 25%), *Physciaceae* (7, 11%), *Lecanoraceae* (6 видов, 10%), *Cladoniaceae*, *Stereocaulaceae* (по 4 вида, 6%), *Coniocybaeae*, *Byssolomataceae*, *Scoliciosporaceae* (по 3 вида, 5%). Остальные семейства содержат по 1–2 вида.

К наиболее крупным относятся роды *Lecanora* (5 видов, 8%), *Cladonia* и *Lepraria*, содержащие по 4 вида (6%). Остальные 32 рода представлены по 1–3 вида.

Среди обнаруженных видов пять – *Bacidina phacodes* (Körb.) Vězda, *Cladonia macilenta* Hoffm, *Cliostomum griffithii* (Sm.) Cop-pins, *Hypocenomyce castaneocinerea* (Räsänen) Timdal, *Micarea laeta* Launis & Myllys – обнаружены впервые на территории ПетрГО. Один вид – *Chaenotheca stemonea* (Ach.) Müll. Arg. – занесен в Красную книгу Республики Карелия (2020) и был обнаружен только на территории БС ПетрГУ.

В эпифитном покрове лиственницы преобладают накипные лишайники (59%) – 37 видов, на долю кустистых и листоватых приходится 16% (10 видов) и 25% (16 видов), соответственно.

Число видов лишайников, обнаруженных на лиственнице, на территории ПТЗ и БС ПетрГУ почти одинаково и составляет 41 и 49, соответственно (табл. 1). Однако видовой состав участкового эпифитного покрова существенно отличается: флористическое сходство составляет всего 32%.

В эпифитном покрове лиственницы в ПТЗ доминируют накипные лишайники, устойчивые к загрязнению – это представители родов *Lecanora*, *Lepraria*, *Scoliciosporum*. В БС ПетрГУ значительный вклад в видовое разнообразие вносят чувствительные к загрязнению виды, принадлежащие как к накипным, так и к листоватым и кустистым жизненным формам: *Lecanora*, *Cladonia*, *Chaenotheca*, *Hypocenomyce*, *Physcia*, *Rinodina* (табл. 2).

Таблица 1

Характеристики видового разнообразия лишайников лиственницы на территориях городской застройки (ПТЗ) и Ботанического сада ПетрГУ (БС ПетрГУ)

Показатель	ПТЗ	БС ПетрГУ
Общее число видов, ед.	41	49
Новые виды для ПетрГО	0	5
Число общих видов, ед.	22	
Коэффициент видового сходства Жаккара	0.32	

Мы предполагаем, что данные отличия вызваны разным уровнем атмосферного загрязнения, что проявляется в величине кислотности субстрата – в условиях городской застройки рН значительно выше естественных значений (табл. 2).

Таблица 2

Значения общих характеристик эпифитного покрова на стволах лиственницы на территориях городской застройки (ПТЗ) и Ботанического сада ПетрГУ (БС ПетрГУ)

Характеристики эпифитного покрова	ПТЗ		БС ПетрГУ	
	0–20 см	130–150 см	0–20 см	130–150 см
Общее покрытие лишайников, %	4.55±1.06	14.9± 2.63	16.5±3.25	19.06±2.54
Среднее число видов, ед.	1.94±0.2	2.25±0.2	1.9±0.3	2.96±0.2
Покрывтие доминантных видов, %				
<i>Hypogymnia physodes</i>	0.4±0.16	3.33±1.12	3.46±0.96	9.26±1.82
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	0	0	2.9±1.08	1.3±0.55
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	0.5±0.33	2.63±1.08	0.04±0.02	0.01±0.01
<i>Xylopsora caradocensis</i>	0	0	1.2±1.2	0.9±0.7
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	0	0	1.13±0.8	0.21±0.1
<i>Cladonia botrytes</i>	0.01±0.01	0	0.9±0.9	0
<i>Scoliciosporum sarothamni</i>	0.32±0.2	0.7±0.4	0	0
<i>Parmelia sulcata</i>	0.05±0.03	0.3±0.13	0.4±0.03	0.03±0.02
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	0.22±0.2	0.12±0.07	0	0
Величина рН	5.76±0.08	4.75±0.06	3.98±0.05	3.81±0.07

Подщелачивание субстрата в зоне интенсивного загрязнения не способствует снижению видового разнообразия лишайников, но приводит к появлению нейтрофильных видов, обычно не участвующих в эпифитном покрове лиственницы в естественных лесах и характерных для лиственных деревьев, таких как: *Candelariella xanthostigma*, *Melanelixia subaurifera*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia adscendens*, *P. stellaris*, *Scoliciosporum sarothamni*.

Исследования выполнены в рамках государственного задания БИН РАН «Растительность Европейской России и Северной Азии: разнообразие, динамика, принципы организации» (№ 121032500047-1).

ЛИТЕРАТУРА:

Красная книга Республики Карелия / А. В. Артемьев, И. А. Барышев, М. А. Бойчук [и др.]. – Белгород: Общество с ограниченной ответственностью «КОНСТАНТА», 2020. – 448 с.

Секция 2

ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИВОТНОГО МИРА

**К ВОПРОСУ О МОРФОЛОГИЧЕСКОМ
И ГЕНЕТИЧЕСКОМ РАЗНООБРАЗИИ
ДОЖДЕВОГО ЧЕРВЯ
BIMASTOS RUBIDUS (DENDRODRILUS RUBIDUS)
НА ТЕРРИТОРИЯХ РОССИИ И БЕЛАРУСИ**

С. А. Ермолов*, А. П. Гераськина*, С. В. Шеховцов,
Е. А. Держинский***, В. М. Коцур*****

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

E-mail: ermserg96@gmail.com; angersgma@gmail.com

** Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: shekhovtsov.s.v@gmail.com

***Витебский государственный университет имени П. М. Машерова

E-mail: dernoctuid@mail.ru; vkocur@mail.ru

Дождевой червь-космополит *Dendrodrilus rubidus (Bimastos rubidus)* относится к подстилочным червям (Перель, 1979). В основном населяет лесную подстилку, верхние слои почвы и является одним из доминирующих обитателей валежника, за что получил тривиальное название «*tree worm*». В экспериментальных работах было установлено, что *D. rubidus* способен выживать в местообитаниях, загрязненных тяжелыми металлами, а его яйцевые коконы имеют экстремально высокую холодоустойчивость (Берман и др., 2010), что свидетельствует об экологической пластичности вида. Систематическое положение *D. rubidus* неоднократно изменялось вследствие анатомо-морфологических различий у особей, на первый взгляд относившихся к одному виду (Перель, 1979; Sims, Gerard, 1999). К концу прошлого столетия вид стали подразделять на четыре формы, которые некоторые авторы считали подвидами: *D. r. tenuis*, *D. r. rubidus*, *D. r. subrubicundus*, *D. r. norvegicus* (Holmstrup, Simonsen, 1996; Sims, Gerard, 1999).

Известно, что на территориях России и Беларуси вид представлен формами *tenuis* и *subrubicundus* (Перель, 1979; Максимова, Мухин 2015). Однако во многих случаях при определении этих дождевых червей наблюдались отклонения от диагнозов имеющихся определителей. Цель данной работы – провести сравнительный морфометрический и молекулярно-генетический анализ особей *D. rubidus (B. rubidus)* из разных регионов России и Беларуси для выявления точных диагностических признаков у различных форм.

Для исследования нами были составлены четыре выборки половозрелых особей *D. rubidus* (*B. rubidus*) из следующих регионов: европейская часть России (Московская, Брянская и Свердловская области), Западная Сибирь (Новосибирская область), северо-западный Кавказ (Карачаево-Черкесская Республика) и Республика Беларусь (Витебская, Гомельская, Могилевская и Минская области). Морфометрический анализ мы проводили по основным признакам: положение пояска, положение пубертатных валиков, пигментация, число семенных пузырей, число семяприемников, положение первой спинной поры, степень выраженности железистых полей, количество сегментов, длина тела, ширина тела, длина пояска, ширина пояска, вес зафиксированного червя. Сравнение количественных признаков осуществлялось с помощью критерия Манна–Уитни. Также нами был проведен молекулярно-генетический анализ на предмет изменчивости митохондриального гена цитохром оксидазы I (*cox1*).

По результатам морфометрического анализа у *D. rubidus* (*B. rubidus*) в выборках из разных регионов отсутствуют различия в размерно-весовых параметрах. Черви из европейской части России, северо-западного Кавказа и Республики Беларусь имели хорошо выраженную пурпурную пигментацию, пигментация червей из Западной Сибири буро-коричневая, что может быть обусловлено их источником пищи, в частности составом лесной подстилки. Степень развития железистых полей и положение первой спинной поры во всех выборках одинаковы, а положение пояска, наоборот, оказалось слишком варибельным, поэтому эти признаки не подходят для точной диагностики видовых форм.

Анализ литературных источников позволил разграничить видовые формы у половозрелых особей «по сочетанию наличия/отсутствия» пубертатных валиков и семяприемников (Holmstrup, Simonsen, 1996; Sims, Gerard, 1999; Csuzdi et. al., 2017): *tenuis* – полностью отсутствуют семяприемники и пубертатные валики; *rubidus* – семяприемники отсутствуют (или пустые и недоразвитые), узкие пубертатные валики; *subrubicundus* – имеются две пары развитых семяприемников, широкие пубертатные валики; *norvegicus* – имеются две пары развитых семяприемников, пубертатные валики отсутствуют. Формы *tenuis*, *rubidus* и *subrubicundus* встречаются повсеместно, форма *norvegicus* эндемична для Норвегии, Швеции и Гренландии (Holmstrup, Simonsen, 1996).

По приведенным критериям в ходе нашего исследования удалось обнаружить три формы *D. rubidus* (*B. rubidus*) на территориях России и Беларуси: форма *tenuis* является преобла-

дающей по количеству в выборках из европейской части России, северо-западного Кавказа и Республики Беларусь; форма *rubidus* в разном количестве присутствует во всех исследованных выборках; выборка с Кавказа единственная, где не отмечена форма *sub-rubicundus*. Примечательно, что в выборке червей из Западной Сибири все формы представлены практически в равном соотношении, а также обнаружена особь, больше соответствующая форме *norvegicus*, нежели *subrubicundus*.

Молекулярно-генетический анализ показал, что, несмотря на значительную морфологическую изменчивость, *D. rubidus* (*B. rubidus*) оказался одним из немногих дождевых червей с очень малой генетической изменчивостью. Среднее нуклеотидное *p*-расстояние внутри общей выборки составило 1.7%; средние расстояния между образцами из разных географических регионов и внутри них, а также между образцами различных форм были довольно низкими для выделения генетических линий или подвидов у дождевых червей. Также мы не обнаружили ни разделения форм в выборках на взаимно монофилетические клады, ни каких-либо ответвлений, соответствующих определенной видовой форме. Это позволяет полагать, что внутри вида нет четких таксономических групп.

Поэтому при отсутствии возможности проведения подробной диагностики данного вида дождевых червей по упомянутым выше признакам и/или не обнаружения половозрелых особей в ходе почвенно-зоологических и экологических исследований, рекомендуется, во избежание ошибок, упоминать вид как *Dendrodrilus rubidus* или *Bimastos rubidus*, не выделяя видовые формы.

Работа выполнена при поддержке проекта «Климаторегулирующие функции и биоразнообразие лесов» (рег. номер НИ-ОКТР 122111500023-6).

ЛИТЕРАТУРА

Берман, Д. И. Яйцевые коконы дождевого червя *Dendrodrilus rubidus tenuis* (Lumbricidae, Oligochaeta) переносят пребывание в жидком азоте / Д. И. Берман, Е. Н. Мещерякова, А. Н. Лейрих // Доклады РАН. – 2010. – Т. 434. – № 6. – С. 834–837.

Максимова, С. Л. Современное состояние лямбликофауны и новые виды дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae) в Беларуси / С. Л. Максимова, Ю. Ф. Мухин // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. – 2015. – № 3. – С. 56–60.

Перель, Т. С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР. – М., Наука. – 1979. – 272 с.

Csuzdi Cs. Molecular phylogeny and systematics of native North American lumbricid earthworms (Clitellata: Megadrili) / Cs. Csuzdi, C-H. Chang, T. Pavlnček, T. Szederjesi, D. Esopi, K. Szlávecz // PLoS ONE. – 2017. – Vol. 12. – No. 8. – P. 1–36.

Holmstrup, M. Genetic and physiological differences between two morphs of the lumbricid earthworm *Dendrodrilus rubidus* (Savigny, 1862) / M. Holmstrup, V. Simonsen // Soil Biology and Biochemistry. – 1996. – Vol. 28. – No. 8. – P. 1105–1107.

Sims, R. W. Earthworms. Notes for the identification of British species / R. W. Sims, B. M. Gerard // Synopsis of the British fauna (New series). No. 8. (Revised). Ed.: R. S. K. Barnes and J. H. Crothers. – London: The Linnean Society and the Estuarine and Coastal Sciences Association, 1999. – 171 p.

РЕПРОДУКТИВНАЯ БИОЛОГИЯ АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ (*EUPHAUSIA SUPERBA*) ИЗ ПРОЛИВА БРАНСФИЛД 2020 ГОДА

А. Д. Колесникова, С. А. Судник

Калининградский государственный технический университет
E-mail: kolesnikova_aleksasha@bk.ru; svetlana.sudnik@klgtu.ru

Наиболее многочисленным промысловым видом эуфаузи-ид Южного океана является антарктический криль (*Euphausia superba* Dana, 1850). До 1990-х годов промысел криля активно осуществлялся Советским Союзом, страна была лидером его мировой добычи. В настоящее время биомасса *E. superba* в Атлантическом секторе Антарктики оценивается в 300 млн.т (Митин и др., 2022).

В целом, о репродуктивной биологии вида накоплен немалый массив данных, однако, анализ публикаций показал разрозненность и, часто, фрагментарность репродуктивных сведений о *E. superba*. Данные о репродуктивном состоянии самцов и самок криля из пролива Брансфилд скудны (Антарктический..., 2001; Спиридонов и др., 2020; Siegel, Watkins, 2015).

Цель работы – исследование особенностей репродуктивной биологии особей антарктического криля из вод пролива Брансфилд в январе 2020 г. Задачи исследования: проведение комплексного лабораторного биологического анализа особей криля; анализ репродуктивного состояния самцов и самок с оценкой развития и созревания их первичных и вторичных половых признаков.

Материал исследования особей криля пролива Брансфилд представлен в таблице 1.

Для исследования репродуктивной биологии рачков подвергли комплексному лабораторному биологическому анализу (методика: Судник, Колесникова, 2022).

Определение пола у криля проводилось по вторичным (совокупительные придатки) и первичным (тип гонад, определяли при вскрытии особей) половым признакам. Самцы криля отличаются присутствием петазмы (парный орган из видоизменённых эндоподитов плеоподов 1) и трубковидных извитых парных семенников. Наличие теликума (карманообразного органа на брюшной поверхности тела) и парных яичников, характеризует самок. Ювенильные особи определяются по отсутствию петазмы и теликума в сочетании с визуально не различимыми гонадами.

Таблица 1

Материал особей *Euphausia superba* из пролива Брансфилд, 2020 г.

Станция	Дата	Координаты сбора проб	Глубина, м	Орудие сбора	№ особей, экз.	Сборщики	Фиксация проб
6591		62°40'91" ю.ш. 59° 21'34" з.д.	237	сеть Бонго	78	сотрудники института им. Ширшова (г. Москва) В.А. Спиридонов, А.К.Залота, В.А. Яковенко, К.М. Горбатенко	6% р-р формалина
6614	21 января	62°36'05" ю.ш. 59°30'16" з.д.	223	сеть Бонго	60		
6589		62° 36'05" ю.ш. 59° 30'16" з.д.	223	Трал Айзекса – Кид-да	250		
6618	31 января	60°59'21" ю.ш. 50°00'86" з.д.	269	Трал Айзекса – Кид-да	107		4% р-р формалина
ИТОГО						495	

Для оценки репродуктивного состояния самцов и самок криля был применен морфологический и гистологический методы: оценка степени развития совокупительных органов особей, и анализ степени развития и созревания семенников и яичников. Оценка стадий зрелости особей произведена по 6-балльной шкале стадии репродуктивного развития самцов и самок (степени зрелости гонад, стадии развития теликума/семяпроводов и петазмы, присутствия сперматофоров у самок) (Судник, Колесникова, 2022). Общая длина тела (ДТ) измерялась от переднего края глаза до конца тельсона (без терминального шипика) с точностью 0.01 мм.

Самцы. В ходе анализа репродуктивного состояния 69 самцов криля из проб за январь 2020 г. из пролива Брансфилд выявлено сильное преобладание мелких особей (средняя ДТ 31-36 мм) с неразвитыми и слабо развитыми первичными половыми признаками (суммарная доля в пробах 80%) (табл. 2). Доля самцов с практически развитыми семенниками составила 20%, и, в сравнении с самцами первой группы, они были достоверно крупнее (средняя ДТ 44.6 мм) ($t_{\text{стат}} = 8.78$, $t_{\text{табл}} = 2.06$) (табл. 2). Это указывает на большую вероятность линьки/линек, происходящих перед или во время созревания семенников у самцов криля. Предварительно, процессы развития вторичных и первичных половых признаков у самцов идут достаточно одновременно.

Таблица 2

Репродуктивное состояние самцов *E. superba*, пролив Брансфилд, январь 2020 г. (ср – среднее значение; со – стандартное отклонение)

Стадия репродуктивного состояния	Состояние половой системы		Станция сбора проб	Количество особей		Длина тела самцов, мм	
	степень развития семенников, семяпроводов	степень развития петазмы, состояние сперматофоров		экз.	%	диапазон	ср±со
Стадия I	семенники не развиты, очень слабо различимы на фоне тканей; семяпроводы без утолщений	петазма в виде неподразделенной лопасти	6589, 6591, 6614, 6618	37	54	28.1–35.5	31.5±2.1
Стадия II	семенники слабо развиты, беловатого цвета; семяпроводы несут развитые в разной степени зачатки ампул и сперматофорных мешков	петазма двулопастная, «крылья» на эндоподитах не развиты	6589, 6591, 6614, 6618	18	26	32.0–42.9	36.3±2.4
Стадия III	семенники развиты практически полностью; семяпроводы содержат мелкие сперматофоры с симметричными по форме головками	петазма двулопастная, «крылья» на эндоподитах развиты	6589, 6591, 6618	14	20	39.1–48.3	44.6±2.2
ВСЕГО				69			

Самки. В ходе оценки репродуктивного состояния 187 самок криля из пролива Брансфилд выявлено, что в целом, в пробах января 2020 г., практически полностью преобладали (суммарная доля 94%) самки с неразвитыми яичниками (стадии I и II; средняя ДТ около 33–38 мм) (табл. 3). Остальную, небольшую часть составили со-зревающие самки (стадия III: с развитым теликумом и развивающимися яичниками), их размеры (средняя ДТ 40.6

мм) (табл. 3) в сравнении с размерами неразвитых самок достоверно не отличались ($t_{\text{стат}}=8,49$, $t_{\text{табл}}=2,16$). Нужно отметить, что по визуальным признакам, вторичные половые придатки (теликум) у самок крыля начинает развиваться раньше, чем их яичники. Зрелые самки крыля (стадия репродуктивного состояния V) в пробах из пролива Брансфилд не встречены.

Таблица 3

Репродуктивное состояние самок крыля *E. superba*, пролив Брансфилд, январь 2020 г. (ср – среднее значение; со – стандартное отклонение)

Стадия репродуктивного состояния	Состояние половой системы		Дата	Количество особей		Длина тела самок, мм	
	стадия зрелости яичников	степень развития теликума, присутствие сперматофоров		экз.	%	диапазон	ср±со
Стадия I	совсем неразвитые	теликум не развит; сперматофоры отсутствуют	6614, 6618, 6591 6589	89	48	28,1– 36,4	33,3±2,2
Стадия II	неразвитые	в начале стадии теликум есть, его стерральная и коксальные пластинки развиты не полностью;	6614, 6618, 6591, 6589	58	31	32,2– 37,6	35,9±1,4
		в конце стадии пластинки теликума развиты, сперматофоры отсутствуют	6589, 6591	29	15	38,0– 41,5	38,7±1,8
Стадия III	развивающиеся	теликум полностью развит, полон спермы и / или содержит сперматофоры	6589, 6591	11	6	38,2– 45,0	40,6±2,0
ВСЕГО				187			

Анализ репродуктивного состояния особей крыля, собранных в середине лета (январь) 2020 г. в водах пролива Брансфилд, показал: среди самцов преобладали мелкие самцы (размеры 31–36 мм) с совсем неразвитыми и слабо развитыми гонадами и совокупительными придатками, семенники остальных, достоверно более крупных, самцов (размеры около 45 мм) были практически развиты; репродуктивная система (яичники, совокупительные органы) большинства мелких самок (размеры 33–38 мм) была слабо развита, остальные самки (размеры около 41 мм) были созревающими. Процессы развития совокупительных органов и

гонад у самцов криля происходили достаточно одновременно, а у самок (по визуальным признакам, без гистологии) копуляторный орган начинает развиваться раньше, чем их яичники.

Выражаем искреннюю благодарность сотрудникам Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН за переданный материал.

ЛИТЕРАТУРА

Антарктический криль: Справочник / Под ред. В. М. Быковой. — М.: Изд-во ВНИРО, 2001. — 207 с.

Митин, С. Г. Антарктический криль: неиспользуемый биоресурс в продовольственном балансе России / С. Г. Митин, К. В. Колончин, С. Н. Серегин, Г. В. Сысоев // Научные труды ВЭО России. — 2022. — Т. 1 (233). — С. 56–80.

Спиридонов, В. А. Состав популяции и транспорт молоди антарктического криля в районе бассейна Пауэлла / В. А. Спиридонов, А. К. Залота, В. А. Яковенко, К. М. Горбатенко // Труды ВНИРО. — М.: Изд-во ВНИРО, 2020. — С. 33–47.

Судник, С. А. Комплексная методика лабораторного анализа криля *Euphausia superba* (Dana, 1850) (Euphausiacea: Euphausiidae) / С. А. Судник, А. Д. Колесникова // Актуальные проблемы зоологии России и сопредельных территорий. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти профессора Вадима Викторовича Золотухина. — Ульяновск: «УГПУ им. И.Н. Ульянова», 2022. — С. 225–233.

Siegel, V. Distribution, biomass and demography of Antarctic krill, *Euphausia superba*, / V. Siegel, J. L. Watkins // Advances in Polar Ecology. — 2015. — Vol. (1). — P. 21–100.

МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЛОХ (SIPHONAPTERA) МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ

Н. А. Кочерова, Л. А. Беспятова, С. В. Бугмырин

Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук

E-mail: tasha_dein@mail.ru

Отряд блох (Siphonaptera) представляет собой группу облигатных эктопаразитов млекопитающих и птиц. Блохи имеют всеветное распространение и служат переносчиками различных возбудителей многих заболеваний человека и животных.

Материалом для анализа послужили многолетние сборы паразитов мелких млекопитающих, проводимые с 2013 по 2023 гг. в окрестностях Гомсельского стационара ИБ КарНЦ РАН, расположенного в среднетаежной подзоне южной Карелии (Республика Карелия, Кондопожский район, координаты: 62°04'с.ш., 33°55' в.д.). Животные были отловлены с использованием линий ловушек Геро, поставленных в разнотипных биотопах в различные сезоны года. Всего было обследовано 1815 особей мелких млекопитающих, с которых собрано 1931 экз. блох. Определение блох выполнено после изготовления препаратов по морфологическим признакам на микроскопе Olympus VX53 (оборудование Центра коллективного пользования ФИЦ КарНЦ РАН).

Видовой состав хозяев представлен 9 видами: Eulipotyphla (*Sorex araneus*, *S. caecutiens*, *S. isodon*, *S. minutus*, *Neomys fodiens*) и Rodentia (*Myodes glareolus*, *Microtus agrestis*, *M. oeconomus*, *Sicista betulina*). Массовыми видами в сборах мелких млекопитающих были рыжая полевка (*M. glareolus*) – 48% и обыкновенная бурозубка (*S. araneus*) – 42%.

Видовой состав блох представлен 13 видами трех семейств: Hystrichopsyllidae (*Ctenophthalmus uncinatus*, *Palaeopsylla soricis*, *Corrodopsylla birulai*, *Doratopsylla dasyncnema*, *Rhadinopsylla integella*, *Hystrichopsylla talpae*), Ceratophyllidae (*Amalareus penicilliger*, *Ceratophyllus garei*, *C. sciurorum*, *Megabothris rectangularis*, *M. walkeri*), Leptopsyllidae (*Peromyscopsylla bidentata*, *P. sylvatica*).

На грызунах отмечено 12 видов блох включая неспецифичные виды: *C. garei* – блоха птиц, *C. sciurorum* – основным хозяином считается обыкновенная белка, *P. soricis* и *D. dasyncnema* – блохи насекомоядных млекопитающих, а также *H. talpae* – поликсенный вид.

При рассмотрении фаунистического комплекса блох грызунов специфичными видами являются: *Ct. uncinatus*, *P. sylvatica*, *A. penicilliger*, *P. bidentata*, *Rh. integella*, *M. rectangulatus*, *M. walkeri*. К массовым видам блох грызунов относятся: *Ct. uncinatus* (западнопалеарктический тип ареала), *P. sylvatica* (транспалеарктический тип ареала) и *A. penicilliger* (голарктический тип ареала). У рыжей полевки отмечено 11 видов блох, ядро фауны (79% от общего числа собранных блох) составляли *Ct. uncinatus* (Индекс встречаемости (ИВ) – 15%; Индекс обилия (ИО) – 0.31), *P. sylvatica* (ИВ – 10% ИО – 0.18), *A. penicilliger* (ИВ – 5% ИО – 0.06). Сезонная динамика численности блох рыжей полевки была показана для доминирующих видов. Вид *Ct. uncinatus* встречается в сборах с марта по октябрь и достигает высокой численности в мае, *A. penicilliger* встречается на протяжении всего года, высокой численности достигает в марте, *P. sylvatica* встречается только в теплое время года и наибольшей численности достигает в конце лета.

На насекомоядных отмечено 8 видов блох, включая неспецифичные виды: *Ct. uncinatus* – вид связанный с лесными полевыми, *Rh. integella*, *P. bidentata* и *P. sylvatica* – блохи грызунов, преимущественно полевок, *H. talpae* – поликсенный вид. При рассмотрении фаунистического комплекса блох насекомоядных специфичными видами являются: *P. soricis*, *D. dasyncnema*, *Corrodopsylla birulai*.

Из 8 видов блох обыкновенной бурозубки наиболее многочисленными (98% от общего числа собранных блох) были виды с западнопалеарктическим типом ареала *D. dasyncnema* (ИВ – 37% ИО – 0.96) и *P. soricis* (ИВ – 17% ИО – 0.41). Сезонная динамика численности блох обыкновенной бурозубки была показана для доминирующих видов. Для видов *D. dasyncnema* и *P. soricis* наблюдается два подъема численности в июне и октябре.

Таким образом, многолетние мониторинговые исследования позволяют рассмотреть видовой состав блох мелких млекопитающих и оценить их встречаемость и обилие в разные сезоны года.

Исследование выполнено в рамках темы НИР КарНЦ РАН (№ 122032100130-3).

ФОРМИРОВАНИЕ СООБЩЕСТВ ПОЧВООБИТАЮЩИХ ОРИБАТИД ЕВРОПЫ: РОЛЬ СТОХАСТИЧЕСКИХ И ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В. Д. Леонов

Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН

E-mail: v.d.leonov@gmail.com

Определение механизмов формирования экологических сообществ — одна из важнейших задач экологии как биологической науки, изучающей жизнь на надорганизменном уровне организации. Согласно одному из современных подходов, формирование экологических сообществ происходит в результате взаимодействия детерминистических (работающих на основе отбора абиотического фильтра и фильтра биотических взаимодействий) и стохастических (случайных событий расселения, видообразования и экологического дрейфа) процессов (Vellend, 2016).

Эти процессы по-разному влияют на различные аспекты разнообразия. Традиционно биоразнообразие определяют в контексте таксономического разнообразия (~видового богатства), но часто его изменение не вполне или вовсе не отражает влияние тех или иных факторов среды, воздействующих в основном на функциональное разнообразие и отбирающих в сообщества виды, способные пройти отбор и фильтр среды. Помимо этого, виды имеют разную эволюционную историю и вносят разный вклад в филогенетическое разнообразие сообществ. Филогенетическое разнообразие может использоваться как замена оценке функционального разнообразия, поскольку, во-первых, многие признаки могут быть неизвестны исследователю, и, во-вторых, для многих важных признаков предполагается эволюционный консерватизм — экологическое сходство филогенетически близких видов (Леонов, 2023).

Орибатида или панцирные клещи — одна из основных групп почвенных животных, характеризующаяся сравнительно большим разнообразием, обилием, постоянным присутствием в почве. Цель этого исследования — определение механизмов, лежащих в основе формирования разнообразия сообществ орибатид, посредством оценки таксономического, функционального и филогенетического разнообразия в биотопах Европы и процессов, влияющих на эти аспекты разнообразия.

Для оценки таксономического разнообразия орибатид проанализировано более 500 оригинальных исследований, выполненных на территории Европы, в которых информация о фауне

орибатид в локальных сообществах установлена не менее чем в 5 образцах и дана четкая географическая привязка места проведения исследования. Для оценки функционального разнообразия сообществ орибатид для каждого вида собрана информация о форме и длине тела, а также типе хелицер. Для оценки филогенетического разнообразия на основе списка видов орибатид получено синтетическое супердревцо из проекта Open Tree of Life. α - и β - компоненты таксономического, функционального и филогенетического компонентов разнообразия рассчитаны с помощью индекса квадратичной энтропии P_{ao} .

Для оценки роли фильтра среды в формировании сообществ орибатид собрана информация о климатических переменных в рассматриваемых сообществах (WorldClim2) и состоянии растительности с применением Dynamic Habitat Indices (DHIs), которые дают информацию о накопленной и минимальной продуктивности растительного покрова, а также ее вариации в течение года на основании 5 индексов состояния растительности. Чтобы оценить влияние дистанции между изученными биотопами на аспекты разнообразия, матрица дистанций преобразована в набор собственных векторов (distance based Moran Eigenvector Maps).

Для оценки влияния растительности, климата и дистанции между исследованными биотопами на различные компоненты разнообразия использован метод оценки объясненной вариации (Variation Partitioning). Он разделяет общую дисперсию изучаемой переменной (α - и β - компоненты трёх аспектов разнообразия) на части, связанные с различными факторами или источниками вариации (климатические факторы, продуктивность растительности, расстояние между сообществами).

Статистически значимое влияние рассмотренных факторов среды найдено только для α -компонентов таксономического и функционального разнообразия сообществ (рис. 1). Для данных аспектов разнообразия расстояние между сообществами определяет максимальное значение объясненной вариации. Доля необъясненной вариации таксономического α -разнообразия составляет около 50%, для функционального α -разнообразия – около 90%. Изменение филогенетического α -разнообразия и β -компонентов таксономического, функционального и филогенетического разнообразия не удалось объяснить с помощью использованного набора факторов — статистически значимое влияние отсутствовало.

Среди детерминистических факторов, объясняющих изменение таксономического α -разнообразия, наиболее важна роль факторов, описывающих состояние растительности: накопленный индекс листовой поверхности (LAI), коэффициент вариации LAI, накопленный индекс поглощённой фотосинтетически активной радиации (FPAR), накопленный нормализованный относи-

тельный индекс растительности (NDVI), коэффициент вариации NDVI. Среди факторов, связанных с климатом, статистически значимо влияет максимальная температура самого теплого месяца. Для функционального α -разнообразия также наиболее важна роль состояния и продуктивности растительности: коэффициент вариации LAI и коэффициент вариации вегетационного индекса EVI. Наиболее важны среди климатических переменных годовая амплитуда температур, сумма осадков самого влажного квартала года и сумма осадков самого сухого квартала года.

Среди факторов, определяющих уровни разнообразия, характер растительного покрова лучше объясняет изменение разнообразия орибатид, чем климат, что может быть связано с ведущей ролью растительности в формировании непосредственной среды обитания орибатид – почв и подстилок, и помимо этого, сглаженным воздействием климатических факторов для почвенных животных. Расстояние между биотопами оказывает более сильное влияние, чем рассмотренные детерминистические факторы, что подразумевает ограничение расселения для орибатид.

Поскольку значительная доля вариации таксономического и функционального α -разнообразия по-прежнему остается необъясненной, а изменение филогенетического α -разнообразия и β -компонент всех трех аспектов разнообразия не объясняется включенными в исследование факторами, то, вероятно, (1) другие экологические процессы и/или (2) неучтенные экологические факторы могут иметь существенное влияние на формирование этих аспектов разнообразия. Небольшая доля объясненной вариации для функционального α -разнообразия может быть связана с ограниченным набором использованных в исследовании функциональных признаков, их консервативностью, а также существованием сообществ орибатид в соответствии с нейтральной теорией биоразнообразия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-74-00101 «Роль факторов среды в формировании сообществ почвенных орибатид (Acari: Oribatida) Европы», <https://rscf.ru/project/22-74-00101/>

ЛИТЕРАТУРА

Vellend, M. The theory of ecological communities. Princeton and Oxford: Princeton University Press / M. Vellend // Monographs in Population Biology. – 2016. – Vol. 57. – p. 248.

Леонов, В. Д. Стохастические и детерминистические процессы в формировании таксономического, функционального и филогенетического разнообразия сообществ: обзор современных представлений / В. Д. Леонов, // Экология. – 2023. – № 4. – С. 245–260.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ КРИПТИЧЕСКИХ ВИДОВ ОЛИГОХЕТ БАСЕЙНА РЕКИ ВЫЧЕГДА

Ю. В. Марченко*, М. А. Голубев*, А. С. Бакашкина*,
М. А. Батурина**, И. О. Велегжанинов**

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

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

E-mail: sokolowa.y2015@gmail.com

Олигохеты – группа пресноводных донных беспозвоночных в изобилии обитающих в различных водотоках и озерах, а также в гипорейной зоне и подземных водах. Водные олигохеты, особенно виды подсемейства *Tubificinae*, признаны биологическими индикаторами качества водных экосистем. Некоторые виды считаются толерантными к воздействию органических загрязнителей и ионов токсичных металлов, к примеру, *Tubifex tubifex* (Müller, 1774) и *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparede, 1862 (Кайгородова, 2010; Erseus et al., 2009). Оба эти вида широко распространены в водоемах европейского северо-востока России.

Одна из основных проблем, связанная с использованием *T. tubifex* и *L. hoffmeisteri*, как биологических индикаторов качества вод и тест-организмов, заключается в их высоком полиморфизме и кажущейся фенотипической пластичности внешней морфологии (Sturmbauer et al., 1999; Liu et al., 2017). В различных исследованиях (Кайгородова, 2010; Liu et al., 2017) отмечается, что широко распространенные и морфологически высоко вариабельные виды *T. tubifex* и *L. hoffmeisteri*, используемые в качестве модельных организмов, могут представлять собой комплексы криптических видов. При этом информация, относящаяся к молекулярной идентификации и филогенетическому анализу этих видов в северных водоемах, отсутствует.

Цель данной работы – изучение молекулярных характеристик широко распространенных видов подсемейства *Tubificinae* в водоемах бассейна р. Вычегда.

Обнаружение в выборках из водоемов бассейна р. Вычегда видов *T. tubifex* и *L. hoffmeisteri* уже выявленных генетических групп будет свидетельствовать о существовании стабильных видовых комплексов, и, возможно, необходимости будущего пересмотра существующей систематики. А нахождение новых генетических групп, напротив, будет подтверждением высокой разнонаправленной изменчивости, требующей рассмотрения данных видов как высокопластичной динамической генетической системы.

Материалом для исследования послужили гидробиологические пробы бентоса из притока Вычегды первого порядка – р. Сысола, с трех точек с разным температурным режимом. Пробы собраны в период с 2021 по 2023 гг. Для генетического анализа черви выбирались живыми и фиксировались 96% спиртом, хранились при температуре -20 °С. Дополнительно рассматривался материал, фиксированный формалином, для описания видового состава олигохет. Определение олигохет до вида осуществлялось в лабораторных условиях под микроскопом в тотальных препаратах с помощью современных определителей (Timm, 2009). Амплификация и очистка ДНК проводилась согласно стандартным методикам. Секвенирование ампликонов осуществляли в ООО «Синтол» (Россия). Полученные нуклеотидные последовательности выравнивали с применением алгоритма ClustalW и анализировали в программном пакете Unipro UGENE. Филогенетическое древо с расчетом bootstep-поддержек узлов ветвления строилось по алгоритму максимального правдоподобия с применением двухпараметрической модели Кимуры, а также расчёт попарных генетических дистанций проводили в программном обеспечении Mega.

В результате на исследованных точках в р. Сысола установлено 13 видов и форм олигохет: *Lumbriculus variegatus* (Müller, 1774) – сем. *Lumbriculidae*; *T. tubifex* (Müller, 1774), *L. hoffmeisteri* Claparède, 1862, *L. udekemianus* Claparède, 1862, ювенильные особи *Tubificinaegen. spp.* – п/сем. *Tubificinae*, сем. *Naididae*; *Nais elinguis* (Müller, 1773), *N. communis* (Piguet, 1906), *N. barbata* (Müller, 1773), *Arcteonais lomondi* (Martin, 1907) – п/сем. *Naidinae*, сем. *Naididae*; *Pristinaea equisetata* (Bourne 1891), *P. aequisetata foreli* – п/сем. *Pristininae*, сем. *Naididae*; *Mesenchytraeus armatus* (Levinsen, 1884) – сем. *Enchytraeidae*. В молекулярно-генетические исследования включены два вида п/сем. *Tubificinae*: *T. tubifex*, *L. hoffmeisteri*.

Литературные данные (Erseus et al., 2009; Sturmbauer et al., 1999), а также древо, построенное на основе доступных последовательностей из Базы Данных BOLD (<https://www.boldsystems.org>), свидетельствуют о сложной внутривидовой генетической структуре вида *T. tubifex*, который, скорее всего, представляет видовой комплекс. В итоге все данные, взятые из БД, разбились на 10 групп с поддержкой выше 95%. Три особи *T. tubifex* из р. Сысола соотносятся с тремя группами из других водоёмов. А именно, гаплотип 1 27 *T. tubifex* соотносится с популяциями из Швеции и Италии (Switzerland, Italy: Milano, LambroRiver); гаплотип 1 29 *T. tubifex* известен из Швеции, Италии и Канады (Switzerland, Italy: Milano, LambroRiver и Canada: Ontario, Hamilton, HamiltonHarbor) и гаплотип *T. Tubifex* Sysolat1 соотносится с популяциями из Италии (Italy: Milano, LambroRiver). Генетические дистанции между гаплотипами из р. Сысола для

T. tubifex составляют в среднем 0.221, внутригрупповые от 0 до 0.009. Это подтверждает предположение о гетерогенности нашей популяции.

Вид *L. hoffmeisteri* также отличается сложной внутривидовой структурой. Ранее (Liu et al., 2017) на основании COI было выделено 9 гаплотипов с доказанными морфологическими отличиями по форме щетинок и пениальных трубочек. 11 особей, собранных в р. Сысола, относятся к трем уже описанным генетическим кластерам. Генетические дистанции между гаплотипами *L. hoffmeisteri* из р. Сысола составляют в среднем 0.118, внутригрупповые дистанции приближены к 0, что также указывает на гетерогенность популяции.

Таким образом, предварительный анализ всего нескольких образцов обоих видов олигохет из р. Сысола на данном этапе исследований свидетельствует о наличии у нас тех же генетических групп, что и в других регионах планеты. Для подтверждения полученных результатов необходимо увеличение набора данных, а совместный анализ данных с морфологическими характеристиками и учётом локальных условий обитания позволит оценить существует ли морфологическое закрепление видимой генетической гетерогенности видов, а также их потенциальное адаптивное значение.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00121, <https://rscf.ru/project/24-24-00121>

ЛИТЕРАТУРА

Кайгородова, И. А. Молекулярная филогения и систематика олигохет: ProetContra / И. А. Кайгородова // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. – 2010. – №4. – С. 42–44.

Erseus, C. Cryptic speciation in Clitellate model organisms/ C. Erseus, D. Gustafsson // In Annelids in Modern Biology. – 2009. – P. 31–46.

Liu, Y. Extensive cryptic diversity in the cosmopolitan sludge worm *Limnodrilus hoffmeisteri* (Clitellata, Naididae) / Y. Liu, S. V. Fend, S. Martinsson, C. Erseus // Organisms Diversity & Evolution. – 2017. – Vol. 17. – P. 477–495.

Sturmbauer, C. Mitochondrial DNA reveals cryptic Oligochaeta species differing in cadmium resistance / C. Sturmbauer, G. B. Opadiya, H. Niederstätter, A. Riedmann, R. Dallinger // Molecular Biology and Evolution. – 1999. – Vol. 16. – N 7. – P. 967–974.

Timm, T. A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe / T. Timm // Lauterbornia. – 2009. – Vol. 66. – P. 1–235.

НОВЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОРФОМЕТРИИ КРАБА *RHITHROPANOPEUS HARRISII* (GOULD, 1841) (BRACHYURA: PANOPEIDAE), ЕЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛЯ ОСОБЕЙ ИЗ АЗОВСКОГО МОРЯ, 2011 г.

А. С. Овчарук, С. А. Судник

Калининградский государственный технический университет

E-mail: arveyzer@mail.ru

E-mail: svetlana.sudnik@klgtu.ru

Родина краба Харриса – атлантические воды Северной Америки, откуда он благодаря высокой плодовитости, широкому спектру питания и устойчивости к колебаниям температуры и солености расселился во все моря Европы. Биология вида в российских водах изучена слабо (Залота, 2017), без использования методики комплексного биологического анализа крабов (Низяев, 2006; Судник, Поддужева, 2019), применение которой позволяет получить детальные размерно-весовые и репродуктивные характеристики. Оценка литературы показала также отсутствие единой образной методики расширенной морфометрии, важной для работы над биометрическим паспортом вида, для оценки популяционной изменчивости по морфологическим признакам. Цель работы – составление такой методики с представлением некоторых результатов морфометрии вида.

Материалом для составления методики расширенного морфометрического анализа крабов послужили статьи с результатами по морфометрии крабов (Низяев, 2006; Jadamec, 1999). Материалом для апробации методики стали 224 особи из пробы, собранной 13–14.07.2011 г. вручную в водах Таманского залива с глубины 0.3–0.7 м специалистами Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН.

В результате анализа публикаций с данными по морфометрии крабов (Низяев, 2006; Судник, Поддужева, 2019; Jadamec, 1999) нами составлена методика расширенного морфометрического анализа крабов Харриса, в состав которой вошла оценка с точностью 0.01 мм 21 пластического признака (рис.): длины карапакса (L_c , ДК) – измеряется дорсально по срединной линии от переднего конца рострума до заднего края карапакса; ширины карапакса (W_c , ШК) – измеряется дорсально в самой широкой части карапакса от одного его латерального края до другого; длины абдомена (Lab) – измеряется дорсально по срединной линии от

переднего края первого сегмента abdomena до конца тельсона; ширины abdomena (Wab) – измеряется дорсально в самом широком месте сегмента как расстояние от одного латерального края до другого (у самцов – первый сегмент, у самок – четвертый; обоснование приводится ниже); длины клешни (Lch) – измеряется по внешнему латеральному краю клешни от ее основания до конца ее неподвижного пальца, для обеих клешней; длины ладони клешни ($Lchp$) – измеряется по срединной линии клешни от ее основания до места сочленения двух пальцев, для обеих клешней; ширины ладони клешни (Wch) – измеряется дорсально от одного латерального края ладони клешни до другого в самой широкой ее части; для обеих клешней; высоты ладони клешни (Hch) – измеряется в самой высокой части ладони от одного края ее внешней латеральной стороны до другого, для обеих клешней; длины меруsapереоподов 2 ($Lm2$) и переоподов 3 ($Lm3$) – измеряется по внешнему боковому краю меруса по крайним границам членика; измеряли у правых переоподов; ширины меруsapереоподов 2 ($Wm2$) и переоподов 3 ($Wm3$) – измеряется дорсально в самой широкой части меруса; измеряли у правых переоподов; высоты меруsapереоподов 2 ($Hm2$) и переоподов 3 ($Hm3$) – измеряется по внешнему боковому краю меруса в самой его высокой части; измеряли у правых переоподов.

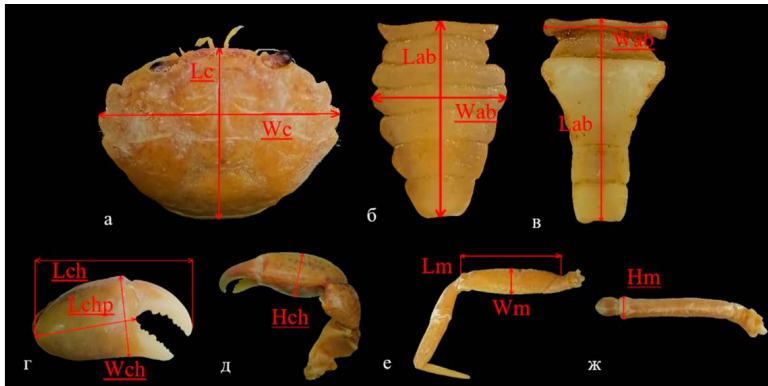


Рис. Схема морфометрии *Rhithropanopeus harrisii*: а – карапакса, б – abdomen самки, в – abdomen самца, г, д – клешня, е, ж – переопод 2 и 3 пары; Lc – длина карапакса; Wc – ширина карапакса; Lab – длина abdomena; Wab – ширина abdomena; Lch – длина клешни; $Lchp$ – длина ладони клешни; Wch – ширина ладони клешни; Hch – высота ладони клешни; Lm – длина меруса переопода 2, 3; Wm – ширина меруса переопода 2, 3; Hm – высота меруса переопода 2, 3 (ориг.).

Результаты выполнения для 224 особей краба (51 самка и 173 самца) расширенного морфометрического анализа представлены в таблице 1. Они составляют основу биометрического паспорта *Rhithropanopeus harrisii* из вод Таманского залива.

Таблица 1

Морфометрия *R. harrisii* из вод Таманского залива, 2011 г.
(SD – стандартное отклонение по выборке)

Пластический признак, мм	Количество, шт.	Диапазон	Среднее значение \pm SD
Общая длина $Tl = Lc + Lab$	224	10.7-24.7	17.5 \pm 3.0
Длина карапакса Lc	224	6.3-15.1	10.4 \pm 1,9
Ширина карапакса Wc	224	7.7-26.3	13.7 \pm 2.8
Длина абдомена Lab	224	4.2-9.6	7.1 \pm 1.1
Ширина абдомена $Wab1$	191	2.8-5.9	4.2 \pm 0.6
Ширина абдомена $Wab3$	178	2.7-5.6	4.1 \pm 0.6
Ширина абдомена $Wab4$	194	2.0-5.7	3.4 \pm 0.7
Длина меруса переоподов 2 $Lm2$	222	3.2-9.1	5.9 \pm 1.3
Ширина меруса переоподов 2 $Wm2$	222	1.0-2.3	1.7 \pm 0.3
Высота меруса переоподов 2 $Hm2$	222	0.6-1.9	1.2 \pm 0.2
Длина меруса переоподов 3 $Lm3$	221	3.6-9.3	6.2 \pm 1.2
Ширина меруса переоподов 3 $Wm3$	221	1.0-2.4	1.7 \pm 0.3
Высота меруса переоподов 3 $Hm3$	221	0.6-1.9	1.2 \pm 0.2
Длина правой клешни $Lch1$	213	4.7-19.8	10.5 \pm 3.3
Длина ладони правой клешни $Lchp1$	216	2.4-12.9	6.4 \pm 2.3
Ширина ладони правой клешни $Wch1$	216	2.1-9.8	5.4 \pm 1.8
Высота ладони правой клешни $Hch1$	216	1.3-6.4	3.4 \pm 1.2
Длина левой клешни $Lch2$	216	4.5-17.8	9.4 \pm 2.7
Длина ладони левой клешни $Lchp2$	217	2.3-10.8	5.3 \pm 1.7
Ширина ладони левой клешни $Wch2$	217	1.9-8.8	4.5 \pm 1.4
Высота ладони левой клешни $Hch2$	217	1.2-5.7	2.8 \pm 0.9

В целом, размеры крабов по ДК составили 6.2–15.1 мм, по ШК – 7.7–26.3 мм. У 51 самки ДК составила 6.2–11.5 мм (8.4 ± 1.2 мм), ШК – 7.7–15.3 мм (10.9 ± 1.6 мм). Размеры самцов достигали более крупных значений: длина карапакса – 6.7–15.1 мм (11.0 ± 1.7 мм), ширина карапакса – 8.5–26.3 мм (14.5 ± 2.5 мм). Сравнительный анализ полученных данных показал достоверное присутствие полового диморфизма по 20 пластическим признакам: 19 из них оказались крупнее у самцов (размеры карапакса, обеих клешней, мерусовпереоподов, длины абдомена и ширины его первого сегмента) и один – у самок (ширины четвертого сегмента абдомена).

Карапакс самцов оказался крупнее, чем у самок: длиннее на 24% и шире на 25% (табл. 2). Абдомен самцов был длиннее такового у самок на 11%; учитывая разные рекомендации в методиках морфометрии разных авторов об измерении ширины абдомена вида, с целью определения самого широкого сегмента у самцов и самок, измерялась ширина визуально самых широких сегментов (1-ого, 3-его и 4-ого). Анализ показал, что 1-ый сегмент был крупнее у самцов на 9%, 4-ый – крупнее у самок на 28%; для 3-его сегмента разница оказалась недостоверна. То есть у самцов абдомен шире в начале, далее сужается, а у самок – расширяется во второй своей половине. Наша рекомендация по измерению ширины абдомена вида: у самцов 1-ый сегмент, у самок – 4-ый. Мерусоходильных ног второй и третьей пары у самцов оказался длиннее на 27–28%, шире на 22%, выше на 23 и 25%. По размерам обеих клешней (всем четырем показателям) самки также уступали самцам: клешни самцов были на 36–45% крупнее.

Сравнительный анализ морфологии правой и левой клешней для самцов и самок (табл. 2) по 4 признакам (длина клешни целиком, длина, ширина и высота ее ладони) выявила достоверно более крупные размеры правой клешни, как у самцов, так и у самок (по всем признакам, кроме длины клешни у самок). Длина правой клешни, относительно левой, была у самцов крупнее на 11%, длина ладони у самцов – на 17%, у самок – на 10%, ширина – на 17% и 12%, высота – на 16% и 14%, соответственно. Можно отметить, что у самцов размеры правой клешни (длина, ширина), в отличие от таковых левой клешни, отличались сильнее, чем у самок; различия в высоте правой и левой клешни у особей разных полов отличались схожим образом.

Таблица 2

Сравнение размеров правой и левой клешни для самцов и самок *R. harrisi* из вод Таманского залива, 2011 г. (SD – стандартное отклонение по выборке)

Пластический признак, мм	Количество, шт.		Диапазон		Среднее значение \pm SD		Критерий Стьюдента		Достоверная разница в средних значениях, %
	правая	левая	правая	левая	правая	левая	t расч.	t табл.	
Самцы									
Длина клешни	164	166	5.7–19.8	5.3–17.8	11.6 \pm 3.0	10.3 \pm 2.4	4.46	1.97	11.2
Длина ладони клешни	167	167	3.3–12.9	2.7–10.8	7.1 \pm 2.0	5.9 \pm 1.5	6.31	1.97	16.9
Ширина ладони клешни	167	167	2.7–9.8	2.5–8.8	5.9 \pm 1.7	4.9 \pm 1.2	6.22	1.97	16.9
Высота ладони клешни	167	167	1.7–6.4	1.6–5.7	3.8 \pm 1.1	3.2 \pm 0.8	6.26	1.97	15.8
Самки									
Длина клешни	49	50	4.7–11.3	4.5–9.9	7.0 \pm 1.3	6.5 \pm 1.1	1.97	1.99	7.1
Длина ладони клешни	49	50	2.4–6.5	2.3–5.2	3.9 \pm 0.9	3.5 \pm 0.7	2.72	1.99	10.3
Ширина ладони клешни	49	50	2.1–5.8	1.9–4.6	3.4 \pm 0.8	3.0 \pm 0.6	3.02	1.99	11.8
Высота ладони клешни	49	50	1.3–3.8	1.2–2.9	2.1 \pm 0.5	1.8 \pm 0.4	3.60	1.99	14.3

Работа выполнена в рамках сотрудничества с Институтом океанологии имени П. П. Шишова РАН и как часть темы НИР ФГБОУ ВО «КГТУ»: Рег. № 13.13.029.2 «Систематика, зоогеография и экология ракообразных Мирового океана».

ЛИТЕРАТУРА

Залота, А. К. Чужеродные виды десятиногих ракообразных (Crustacea Decapoda) в морях России и сопредельных водах: дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.10 // Залота Анна Константиновна; Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова РАН; науч. рук. В. А. Спиридонов. Москва, 2017. – 255 с.

Низяев, С. А. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России / С. А. Низяев, С. Д. Букин, А. К. Клигин, Е. Р. Первеева, Е. В. Абрамова, А. А. Куртченко. — Южно-Сахалинск: СахНИРО, 2006. — 114 с.

Судник, С. А. Биология крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Brachyura: Leucosiidae) Южно-Китайского моря / С. А. Судник, Е. А. Поддубева // Научный журнал «Известия КГТУ». — 2019. — № 52. — С. 43–59.

Jadamec, L. S. Biological field techniques for Chionoecetes crabs / Luke S. Jadamec, William E. Donaldson, Paula Cullenberg. — Fairbanks: Alaska Sea Grant College Program. — 1999. — Vol. 2. — P. 80.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИБРЕЖНОГО ЗООПЛАНКТОНА КРУПНЕЙШИХ ЛАГУН ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ ЛЕТОМ 2023 ГОДА

Ю. Ю. Полунина*, Э. А. Болотов**

*Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН

E-mail: jul_polunina@mail.ru

** Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта

E-mail: bolotov.ernest@mail.ru

Расположенные в юго-восточной части Балтийского моря Куршская и Вислинская лагуны – важные рыбопромысловые, рекреационные, портовые акватории для Калининградской области с высокой антропогенной нагрузкой и существенными колебаниями факторов среды в прибрежной зоне. Оценка состояния зоопланктона, первого звена передачи энергии автотрофов к гетеротрофам и важного пищевого объекта рыб-планктофагов, прибрежной зоны заливов актуальна, поскольку он динамично реагирует на изменения среды вариациями состава, структуры и количественных показателей. Цель исследования – выявить структурные особенности прибрежных сообществ зоопланктона Куршского и Вислинского заливов летом 2023 г.

Пробы мезозоопланктона отобраны в прибрежной зоне Вислинского залива 13.06.2023 (южное побережье), 16.06.2023 (северное побережье) и Куршского залива (западное побережье в пределах национального парка «Куршская коса») 02.07.2023 г. на глубине около 0.8–1.0 м, процеживанием 50 л воды через сеть Апштейна (ячей 100 мкм). Фиксацию и камеральную обработку проводили стандартными методами (Методические..., 1984) с использованием определителей (Определитель..., 2010; The World of Copepods). Видовое разнообразие оценивали по индексам видового богатства Маргалефа, разнообразия Шеннона и выравнинности Пиелу. Рассчитывали индекс сапробности. Сходство фаун оценивали при помощи индекса Жаккара. Температуру воды измеряли водным термометром.

Зоопланктон прибрежной зоны Вислинского залива представлен 9 видами и более крупными таксонами, Куршского залива – 13 видами. Только 5 видов были отмечены в обоих заливах: *Filinia longiseta*, *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Chydorus sphaericus*, *Bosmina coregoni*. Рассчитанный индекс Жаккара был равен 0.3, что показывает низкое сходств фаун зоопланктона заливов. Выявленные индикаторные виды зоопланктона заливов относились, преимущественно к β – мезасопробам.

В прибрежном зоопланктоне Вислинского залива выявлено низкое число видов при температуре воды в среднем 20.6–22.5 °С. Наиболее значимой группой были коловратки, представленные мелкими видами-седиментаторами из широко распространённых родов *Keratella*, *Filinia*, потребляющие мелкоразмерную органическую взвесь. Из веслоногих ракообразных отмечен один эвригалинный вид *Eurytemora affinis*. По численности доминировали коловратки: *Keratella quadrata* составляла 75%, *Keratella cochlearis* – 18%, и *Filinia longiseta* – 5% общей численности зоопланктона. Вклад остальных видов в численность не превышал 2%. Общая численность зоопланктона варьировала в пределах от 0.2 до 200 тыс. экз./м³. Биомасса зоопланктона на всех станциях была довольно низкой, в среднем составляя всего 20.9 ± 0.7 мг/м³ (табл.). Максимальные показатели биомассы (50.1 и 79.9 мг/м³) отмечены на станциях, расположенных на юго-восточном побережье залива.

Таблица

Некоторые показатели зоопланктона Куршского и Вислинского залива летом 2023 г.

Показатели	Куршский залив	Вислинский залив
Число видов	13	9
Численность (тыс.экз./м ³)	273.5–997.7	0.2–200.2
Биомасса (мг/м ³)	4292–42833	0.1–79.9
Индекс видового богатства Маргалефа	0.9	0.8
Индекс Шеннона	1.1	0.8
Индекс выравненности Пиелу	0.4	0.3
Индекс сапробности	1.2	1.5

В Куршском заливе, при температуре воды ок. 20 °С, наиболее разнообразны были ветвистоусые ракообразные. На станции, расположенной в п. Лесной, был найден вид *Alona costata*, которой не встречался на других станциях. Наиболее многочисленными видами были *Bosmina coregoni* (315 тыс. экз./м³) и *Chydorus sphaericus* (63 тыс. экз./м³). В структуре зоопланктона доминировали по численности клadoцеры, где вид *Bosmina coregoni* составил 39%, *Chydorus sphaericus* 29% и *Daphnia galeata* 11% общей численности зоопланктона. Веслоногие ракообразные были представлены пресноводными видами *Mesocyclops leuckarti* и *Eudiaptomus graciloides*, их доля составляла ок. 7%. Значения биомассы в Куршском заливе были высокие – в среднем 18322±2956 мг/м³, что многократно выше, чем в Вислинском заливе. Максимальное значение биомассы отмечено у п. Рыбачий в Черногорской бухте – 42833 мг/м³.

Рассчитанные индексы видового богатства Маргалефа, разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу были довольно низкими, однако чуть выше они были в Куршском заливе (табл.1). Индекс сапробности для Куршского залива был равен 1.2, а для Вислинского залива – 1.5, что характеризует воды Вислинского залива большей сапробностью.

Таким образом, в летний период 2023 г. зоопланктон Вислинского залива представлен 9 видами и таксонами более высокого порядка, доминировали коловратки *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, *Filinia longiseta*, которые составляли почти 98% общей численности. Количественные показатели изменялись в пределах от 0.2 до 200.2 тыс. экз./м³ и 0.1–79.9 мг/м³ с максимумом в юго-восточном побережье залива.

В Куршском заливе отмечено 13 видов зоопланктона, доминировали ветвистоусые ракообразные *Bosmina coregoni*, *Daphnia galeata*, *Chydorus sphaericus* которые составляли почти 88% общей численности зоопланктона. Веслоногие ракообразные были представлены пресноводными видами. Средняя биомасса зоопланктона – 18332 мг/м³, что превышает этот показатель в Вислинском заливе почти в 870 раз.

Индексы видового богатства Маргалефа, разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу были выше в Куршском заливе, чем в Вислинском, а индекс сапробности был выше в Вислинском заливе. Это иллюстрирует, с учетом низких показателей числа видов и количественного развития зоопланктона, неблагоприятное состояние прибрежных вод Вислинского залива по данным зоопланктона летом 2023 г.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН по теме FMWE-2024–0025 (по Вислинскому заливу) и научно-образовательной программы «Плавучий университет» (по Куршскому заливу).

ЛИТЕРАТУРА

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. А. А. Салазкина, М. Б. Ивановой, В. А. Огородниковой. — Л.: ГосНИОРХ, 1984. — 33 с.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т.1. Зоопланктон / Под ред. В.Р. Алексеева, С. Я. Целолихина. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. — С. 231–233.

The World of Copepods [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.marinespecies.org/copepoda/>.

ИЗМЕНЕНИЕ ТРОФИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ РУБКИ ЛЕСА В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

А. А. Фатеева*, А. А. Кудрин*

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: fateeva@ib.komisc.ru; kudrin@ib.komisc.ru

Лесозаготовка, будучи одним из наиболее мощных антропогенных факторов воздействия на леса, влечет за собой множественные экологические последствия, такие как смена растительного покрова, изменение физико-химических свойств почв и условий обитания живых организмов (Ballard, 2000). Почвенные беспозвоночные как один из компонентов лесной биоты играют важную роль в протекании множества экосистемных процессов, таких как деструкция опада, круговорот питательных элементов и определение плодородия почв (Wagg et al., 2014). Известно достаточно много работ посвященных изучению структурных показателей почвенной биоты на вырубках. Однако несмотря на ее важное значение, об их функциональной активности на вырубках известно очень мало. Одним из ключевых процессов, отражающих функциональное состояние почвенных экосистем, является трофическая активность (далее ТА) почвенных беспозвоночных, её оценка может позволить получить представление об интенсивности нарушения и темпах восстановления лесных экосистем после лесозаготовки.

Цель работы заключалась в оценке изменений функциональной активности сообществ почвенных беспозвоночных и определении темпов ее восстановления в результате рубки леса. Учитывая тот факт, что заготовка леса вызывает сокращение численности большинства групп почвенных беспозвоночных (Kudrin et al., 2023) мы ожидаем, (1) что вырубка приведёт к снижению трофической активности почвенной фауны. Принимая во внимание что численность почвенных беспозвоночных может восстанавливаться уже через 10 лет после лесозаготовки (Kudrin et al., 2023), мы предполагаем, (2) что через 15–20 лет после рубки функциональная активность восстановится до контрольных значений. Наряду с резким изменением экологических условий, на почвенную фауну оказывают влияние и сукцессионные процессы, связанные с последовательной сменой растительного покрова на

вырубках, поэтому также не до конца понятно как быстро может происходить восстановление.

Работа была проведена в августе 2022 г. в северо-западной части России, Республике Коми, подзоне средней тайги. Для исследования было выбрано три массива бореального леса, в трех локациях, находящихся друг от друга на расстоянии 70–100 км: две в Сыктывдинском районе (61°54'58.9"N 50°32'22.6"E; 61°14'35.8"N 50°28'48.7"E); 61°14'35.824"N 50°28'48.667"E) и одна в Корткеросском районе (61°42'36.5"N 51°09'23.6"E). В трех локациях были подобраны серии участков сукцессионного ряда, таким образом были исследованы три свежие вырубки, возрастом 2–3 года (С1, С2, С3), три молодых рубки возрастом 15–20 лет (М1, М2, М3) и три контрольных ельника (К1, К2, К3). Экспериментальные участки внутри трех локаций были отобраны с учетом их близости относительно друг к другу, что указывает на принадлежность к одному типу исходного лесного массива со схожими характеристиками. Поиск и отбор участков проводился с использованием сайта предоставляющего данные для мониторинга состояния лесов – Global Forest Watch (<https://www.globalforestwatch.org/>). ТА почвенных животных оценивали с использованием метода приманочных пластин (bait-lamina test), исходя из количества съеденной за определенное время приманки. В качестве приманки использовалась смесь порошка листьев крапивы и микрокристаллической целлюлозы (соотношение 3:7) (Vorobeichik and Bergman, 2021). Период экспозиции составил 14 дней. На каждом участке в трех точках было установлено по 24 пластины, разделённых на 4 ряда. Всего было установлено 648 пластин (3 лок.ЧЗ возр.ЧЗ точк.Ч4 рядаЧ6 пл.). ТА оценивалась отдельно для двух половин каждой пластинки, охватывающие верхний органогенный слой 0–4 см и подлежащий слой минеральной почвы 4–8 см. Далее пластины просматривали в лаборатории под бинокулярным микроскопом, визуально оценивая % перфорирования каждого отверстия, отражающий степень потребления приманки сапрофагами, по пятибалльной шкале: 0 б. – не тронут; 0.25 б. – съедено примерно 25% площади; 0.5 б. – 50%; 0.75 б. – 75%; 1 б. – перфорировано полностью (100%). Такая дробная пятибалльная шкала, в отличие от традиционной двухбалльной, более точно позволяет оценить ТА (Vorobeichik and Bergman, 2021).

Данные о ТА были логарифмически преобразованы ($\log(x+1)$). Для оценки влияния рубки на ТА применяли линейные смешанные модели (ЛММ). Для апостерных сравнений использовали критерий Тьюки. Также рассчитывали коэффициент

вариации ТА в каждой группе сукцессионного ряда. Стандартную статистическую обработку результатов проводили в программе MicrosoftOfficeExcel 7.0, R 4.3.2.

Таким образом, наша гипотеза о влиянии сведения леса на ТА почвенных беспозвоночных подтвердилась. В верхнем почвенном слое (0–4 см) вырубка леса на свежей вырубке (2–3 г.) привела к снижению ТА на 26% и увеличению коэффициента вариации по сравнению с контролем. Через 15–20 лет после вырубки значения ТА и коэффициента вариации занимает промежуточное положение между контролем и свежей вырубкой. Несмотря на то, что различные группы почвенной биоты могут реагировать на лесозаготовку по-разному, полученные данные указывают на весьма существенный эффект такого воздействия на функциональную активность сообществ почвенных беспозвоночных, предполагая снижение их роли в экосистемных процессах на вырубках. Помимо снижения ТА, на свежей вырубке было обнаружено возрастание гетерогенности ее значений. Это может быть обусловлено неоднородностью наземного покрова на вырубках и образованием микростадий, характеризующихся своеобразным комплексом экологических условий. Вероятно, что в сохранившихся микростадиях часть почвенной фауны также сохраняется или может восстанавливаться быстрее. Вторая гипотеза подтвердилась частично. Показатели ТА на вырубках 15–20 лет находятся в промежуточном диапазоне между контрольными значениями и значениями на свежей вырубке, что указывает на продолжающееся восстановление функциональной активности на данном этапе. На этой стадии активизируется рост лиственных деревьев, и полное смыкание их крон происходит уже на 7–11 год (Уланова, 2006). По-видимому, такая смена растительности может иметь значение в процессах восстановления почвенной фауны и ее функциональной активности на вырубках.

Работа выполнена в рамках темы НИР отдела экологии животных «Разнообразие фауны и пространственно-экологическая структура животного населения европейского северо-востока России и сопредельных территорий в условиях изменения окружающей среды и хозяйственного освоения», рег. № 122040600025-2.

ЛИТЕРАТУРА

Уланова, Н. Г. Восстановительная динамика растительности сплошных вырубок и массовых ветровалов в ельниках южной тайги (на примере европейской части России) / Н. Г. Уланова. – Автореф. дис. доктора биол. наук. – М., 2006. – 46 с.

Ballard, T. M. Impacts of forest management on northern forest soils / T. M. Ballard // *Forest ecology and management*. – 2000. – Vol. 133. – N. 1–2. – P. 37–42. doi: 10.1016/S0378-1127(99)00296-0

Bengtsson, J. Reserves, resilience, and dynamic landscapes / J. Bengtsson, P. Angelstam, T. Elmqvist, U. Emanuelsson, C. Folke, M. Ihse, F. Moberg, M. Nyström // *Ambio*. – 2003. – Vol. 32. – P. 389–396. doi:10.1579/0044-7447-32.6.389

Kudrin, A. A meta-analysis of the effects of harvesting on the abundance and richness of soil fauna in boreal and temperate forests / A. Kudrin, E. Perminova, A. Taskaeva, A. Ditts, T. Konakova // *Forests*. – 2023. – Vol. 14. – N 5. – 923 p. doi:10.3390/f14050923.

Vorobeichik, E. L. Bait-lamina test for assessment of polluted soils: Rough vs. Precise scales / E. L. Vorobeichik, I. E. Bergman // *Ecol. Indicators*. – 2021. – Vol. 122. – 10 p. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107277

Wagg, C. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality / C. Wagg, S. F. Bendera, F. Widmer, M. G. A., van der Heijden // *PNAS*. – 2014. – Vol. 111. – N 14. – P. 5266–5270. doi: 10.1073/pnas.1320054111.

РОДИТЕЛЬСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ КУСТАРНИКОВЫХ СОБАК В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Д. С. Черников*, М. А. Брагин**, Н. А. Веселова***

* РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева

E-mail: reptilis-palustris@yandex.ru

** Московский зоологический парк

E-mail: mabragin1981@yandex.ru

*** Государственный биологический музей им. К. А. Тимирязева

E-mail: veselova_n.a@mail.ru

Родительское поведение относится к одному из сложных типов поведения, универсально для млекопитающих, является поведенческой и эволюционной стратегией, включающей вклад родителей в выживаемость и приспособленность потомства. Многие млекопитающие демонстрируют такие паттерны поведения, как выкармливание, груминг, охрана и научение детенышей (Kokko, Jennions, 2008).

Мало что известно о родительском поведении, демонстрируемом в естественных условиях кустарниковой собакой (*Speothos venaticus*), редким южноамериканским представителем семейства Псовые (*Canidae*).

Исходя из сводок племенных книг, в 48 международных учреждениях у содержащихся в искусственных условиях кустарниковых собак не было обнаружено признаков репродуктивной сезонности, что может быть связано со сплочённой социальной организацией стаи (Kleiman, 1968).

Целью нашей работы стал анализ родительского поведения кустарниковых собак в искусственных условиях.

Для достижения данной цели были определены следующие задачи:

1. Охарактеризовать распределение основных форм родительского поведения кустарниковых собак в условиях Московского зоопарка;
2. Проанализировать закономерность в распределении контактов между родителями в группе кустарниковых собак.

Исследование проводили в период с 1.06.2023 г. по 1.10.2023 г. на базе отдела «Млекопитающие» Московского зоопарка.

Животных содержали семейной группой, состоящей из 16 взрослых особей и 6 щенков (3 самцов и 3 самки), ядром группы

являлась доминирующая пара. В исследовании участвовало 6 щенков седьмого помёта (рождённые 9.05.2023 г.) и родительская пара, возрастом 6 лет. Щенки родились во внутренних помещениях вольерного комплекса, после чего самкой были перенесены в нору, сделанную группой, из-за чего наблюдения сразу же после рождения были невозможны. К моменту начала основных наблюдений щенки сами выходили из норы и имели визуальные отличия.

В ходе предварительных наблюдений был выбран метод регистрации отдельных поведенческих актов (Попов, Ильченко, 2008) и выделены следующие категории поведения: кормление родителями, назо-генитальный контакт родителей со щенками, игровое поведение с родителями, груминг, социальное обучение щенков, аномальное родительское поведение. Кормление родителями включает в себя лактацию самкой, срыгивание самцом и самкой, а также поведение, при котором самец или самка приносят щенкам мелкие кусочки корма. Аномальное родительское поведение включало в себя агрессию, отторжение, каннибализм.

Наблюдения вели ежедневно двумя 1.5-часовыми сессиями (с 10:30 до 12:00 и с 14:00 до 15:30). Всего обработано 75 протоколов наблюдений, общее время наблюдений составило 900 ч.

В ходе проведения исследования было получено следующее распределение форм родительского поведения (рис).



Рис. Распределение форм родительского поведения (%).

Аномальное родительское поведение за время наблюдений отсутствовало.

При исследовании распределения данных форм поведения были замечены следующие особенности: 89% случаев кормление самкой и в 11% случаев самцом, причём срыгивание самцом наблюдалось 1 раз за всё время наблюдений. Следует отметить, что кормление самкой включало не только лактацию, но и принесение кусочков корма к щенкам. Игровое поведение в большей степени наблюдалось у самца со щенками, что составило более 95%. Груминг в 93% случаев встречался у самки со щенками, причём по мере взросления детёнышей количество данных контактов снижалось.

Из данных литературы нам известно, что кустарниковые собаки образуют устойчивые моногамные пары, и в воспитании потомства участвуют как самец, так и самка (Macdonald, 1996). В Московском зоопарке животные так же демонстрируют данное поведение.

У кустарниковых собак отсутствуют визуальные метки на теле, которые у других псовых могут привлекать внимание сородичей (Kleiman, 1968), поэтому мы считаем, что назо-генитальные контакты позволяют им отличать друг друга по запаху.

В природе животные живут семейными группами и совместно охотятся, такое кооперативное поведение позволяет им эффективно охотиться на более крупную добычу. Детёныши достаточно пугливы, но в компании родителей и старших сородичей учатся охотиться в группе (Macdonald, 1996). В искусственных условиях потребность в охоте пропадает, но базовые инстинкты остаются. Так, при наблюдениях были отмечены эпизоды совместной охоты. Животные в зоопарке живут так же большой семейной группой, поэтому мы считаем, что социальное обучение остаётся достаточно весомым фактором в воспитании потомства.

Груминг участвует в укреплении социальных связей между родителями и детёнышами, в наших наблюдениях по мере взросления щенков количество данных контактов уменьшалось, и мы связываем это с тем, что при рождении родителям нужно тесно укрепить связь со щенками.

Таким образом, можно сказать, что у кустарниковых собак в искусственных условиях так же, как и в природе, в воспитании потомства участвуют оба родителя. Распределение форм родительского поведения происходит неравномерно, и большая доля форм родительского поведения приходится на самку.

ЛИТЕРАТУРА

Попов, С. В. Руководство по научным исследованиям в зоопарках: Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе / С. В. Попов, О. Г. Ильченко. – М.: Московский зоопарк, 2008. – 160 с.

Kleiman, D. G. Reproduction in the Canidae / D. G. Kleiman // International Zoo Yearbook. – 1968. – N 8. – P. 3–8.

Kokko, H. Parental investment, sexual selection and sex ratios / H. Kokko, M.D. Jennions // Journal of Evolutionary Biology. – 2008. – N 21. – P. 919–948.

Macdonald, D. W. Social behaviour of captive bush dogs (*Speothos venaticus*) / D. W. Macdonald // Journal of Zoology. – 1996. – N 239. – P. 525–543.

Секция 3

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ РЕКИ ЕЛШАНКИ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «Г. САРАТОВ» В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

А. С. Беликов

Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н. Г. Чернышевского

E-mail: a.belik99@mail.ru

Малые водотоки являются особенно уязвимыми перед любым человеческим вмешательством, которое меняет природные условия бассейна реки. В прошлом они выполняли роль естественных регуляторов водного режима, но сегодня не способны выполнить свои функции. Они страдают от загрязнения, теряют способность к самоочищению и в конечном итоге могут полностью исчезнуть.

Цель исследования – экологическая характеристика и мониторинг реки Елшанки муниципального образования «город Саратов» в условиях антропогенного воздействия.

Исследование р. Елшанки осуществлялось с апреля 2019 г. по октябрь 2023 г. Отбор и хранение проб воды проводились в соответствии с инструкцией по общим требованиям к отбору проб (ГОСТ Р 59024-2020). Гидрохимический анализ воды осуществлялся фотометрическим, спектрофотометрическим и комплексно-нометрическим методами (Порфирьева и др., 2018).

Река Елшанка – приток реки Курдюм, протекающая по территории Гагаринского района Саратовской области. Исток реки расположен в поселке Жасминный, а устье – напротив села Клещевка. Река имеет длину 26 км, русло извилистое, шириной менее 1 м в истоках и расширяющееся до 4 м ближе к устью. В промышленной зоне запруды на реке образуют каскад прудов.

Основными источниками негативного воздействия на реку являются тяжелые металлы (ТМ), которые поступают коммунально-бытовыми сточными водами с близлежащих промышленных центров, многочисленных садовых некоммерческих товариществ (СНТ), поверхностными стоками с с.-х. угодий, автомобильных и железных дорог (Беликов и др., 2023). Результаты исследования показали неоднократное и стабильное загрязнение вод р. Елшанки в течение исследованного периода. Особенно это было заметно в 2019 и 2023 гг., когда на отдельных участках реки наблюдались абсолютные изменения органолептических (цвет, запах, прозрачность и т.п.) и гидрохимических показателей воды (таблица).

Таблица

**Содержание некоторых веществ в воде р. Елшанки
по годам исследования, мг/л***

Год	Сезон	ХПК**	NO ₂	Cu	Mn	I ₂	ПАВ
2019	Лето	27±3.1	0.2±0.07	0.001±0.001	0.02±0.03	0.2±0.05	0.08±0.02
	Осень	135±3.1	0.3±0.07	0.003±0.001	1.3±0.05	1.2±0.05	0.09±0.02
	Весна	120±3.2	0.1±0.07	0.002±0.001	0.09±0.03	0.5±0.05	0.09±0.02
2020	Лето	30±3.3	0.07±0.01	0.001±0.001	0.007±0.002	0.08±0.01	0.3±0.1
	Осень	35±3.4	0.08±0.01	0.001±0.001	0.001±0.002	0.07±0.01	0.2±0.1
	Весна	114±3.3	0.06±0.01	0.001±0.001	0.001±0.002	0.08±0.01	0.2±0.1
2021	Лето	41±3.3	0.06±0.01	0.001±0.001	0.001±0.002	0.07±0.01	0.2±0.1
	Осень	45±3.1	0.08±0.01	0.001±0.001	0.002±0.002	0.06±0.01	0.2±0.1
	Весна	110±3.2	0.08±0.01	0.001±0.001	0.001±0.002	0.05±0.01	0.1±0.01
2022	Лето	32±3.3	0.06±0.01	0.002±0.001	0.001±0.002	0.05±0.01	0.1±0.01
	Осень	38±3.3	0.07±0.01	0.002±0.001	0.001±0.002	0.05±0.01	0.1±0.01
	Весна	116±3.3	0.07±0.01	0.002±0.001	0.001±0.002	0.06±0.01	0.1±0.01
2023	Лето	35±3.4	0.2±0.07	0.02±0.01	0.001±0.002	0.04±0.01	0.2±0.1
	Осень	33±3.5	0.1±0.07	0.03±0.01	0.001±0.002	0.03±0.01	0.1±0.01
	Весна	150±3.4	0.07±0.01	0.001±0.001	0.001±0.002	0.04±0.01	0.1±0.01
ПДК		30	0.08	0.001	0.01	0.125	0.1

* – жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК

** – химическое потребление кислорода

В программах экологического мониторинга величина ХПК используется в качестве меры содержания органического вещества в пробе, которое подвержено окислению сильными химическими окислителями. Большое количество ХПК выявлено в период весеннего половодья. Максимальное его превышение в летний период наблюдалось в 2021 г., в осенний – 2019 г., в весенний – 2023 г. Максимальное содержание нитритов в воде выше значений ПДК наблюдалось в 2019 и 2023 гг., что свидетельствует о недавнем органическом загрязнении, а присутствие этого соединения в воде указывает на то, что процесс минерализации органического вещества не завершен. Нитриты в водоемах образуются в результате окисления нитратов и аммиака, поступающих из почвы и дождевых вод.

Содержание меди превышало значение ПДК в 2019 и 2022 гг. при максимальной величине в 2023 г. в летний и осенний сезоны. Вероятнее всего источниками загрязнения являются сбросы сточных вод с близлежащих предприятий и поступление большого количества удобрений с с.-х. угодий, содержащих соли меди. В 2019 году превышение ПДК по марганцу и йоду было в 70 и 14 раз соответственно. Эти элементы стабильно присутствуют в подземных водах и в воде открытых водоемов в виде взвешенных и коллоидных частиц (Вредные..., 2007). Высокое содержание марганца, очевидно, связано с чрезвычайно высокой способностью некоторых погруженных гидрофитов (*Elodea canadensis*, *Ceratophyllum demersum*) и представителей родов *Potamogeton*, *Myriophyllum* поглощать и накапливать этот элемент (Садчиков, 2004). После того, как в осенний период макрофиты отмирают, элементы поступают в воду и донные отложения, тем самым увеличивая их концентрацию в экосистеме. Содержание ПАВ в воде оставалось постоянным на протяжении всего периода исследований, опускаясь ниже ПДК лишь в отдельные сезоны. Это можно объяснить широким использованием в быту ПАВ содержащих средств, а также наличием вдоль реки большого количества СНТ и промышленных объектов, стоки которых попадают в водную среду. Повышенные уровни загрязнения ПАВ водной среды в 2020–2021 гг. объясняется увеличением использования жителями этих веществ в связи с режимом самоизоляции (COVID-19).

Таким образом, результаты исследования указывают на наличие значительного загрязнения р. Елшанки ТМ, органическими и минеральными веществами, что необходимо учитывать при принятии соответствующих мер для защиты и восстановления ее экосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

Беликов, А. С. Структура сообществ макрофитов малых рек города Саратова в условиях антропогенной нагрузки / А. С. Беликов, В. А. Болдырев, О. В. Седова, О. Н. Торгашкова // Поволжский экологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 259–273.

ГОСТ Р 59024-2020 Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Российский институт стандартизации, 2022. – 70с.

Садчиков, А. П. Экология прибрежно-водной растительности / А. П. Садчиков, М. А. Кудряшов. – М.: НИА-Природа, 2004. – 220 с.

Вредные вещества в окружающей среде. Элементы V-VIII групп периодической системы и их неорганические соединения [Электронный ресурс]. – 2007. – URL: <https://djvu.online/file/X0YBtK2SmVAWQ> (дата обращения 17.12.2023).

Порфирьева, А. В. Гидрохимический анализ: учеб. пособие / А. В. Порфирьева, Г. К. Зияндинова, Э. П. Медянцева, Г. А. Евтюгин. – Казань: Издательство Казанского университета, 2018. – 88 с.

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ В ПОЙМЕ р. АМБАРНАЯ В ЗОНЕ НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Д. А. Гордина

Сибирский федеральный университет

E-mail: DahaHipHop124@gmail.com

Добыча и переработка полезных ископаемых в условиях Арктики является одним из дестабилизирующих факторов, приводящих к трансформации арктических экосистем и потере их биосферных и хозяйственных функций. Норильский промышленный район является одним из примеров глубокой трансформации природных ландшафтов под влиянием техногенеза (Юркевич и др., 2021). Чтобы оценить влияние антропогенной деятельности на почвы исследователи предлагают использовать показатели биологической активности почв (Казеев и др., 2003).

Цель работы – дать оценку биологической активности почвы поймы р. Амбарная.

Объектом исследований являются аллювиальные почвы бассейна р. Амбарная в зоне промышленного влияния г. Норильска. Первое исследование проводилось на двух участках, рекультивированных в 2021 и 2022 гг. после разлива нефтепродуктов в мае 2020 года в результате аварии на ТЭЦ-3. Участки, отведенные под рекультивацию, расположены вдоль береговой линии, ширина рекультивированной полосы – 10–15 м. Перед посевом трав была проведена распашка участков, внесены торф и сорбент. Сверху рассыпаны семена фиторекультиванта. Состав смеси не известен, однако через год после проведения рекультивационных работ были отмечены всходы *Festuca pratensis*. В качестве контроля выбран фоновый участок ивково-закового луга. Второе исследование проводилось на трех участках в июле 2023 года в пойме р. Амбарная. Пробы почв отбирались в подстилке и на глубине 0–5 и 5–10 см в пяти повторностях и делали смешанный образец. В работе использовано два показателя биологической активности: микробная биомасса и функциональная активность почвенной биоты. Микробную биомассу определяли регидратационным методом (Звягинцев, 1991); активность почвенной биоты – методом приманочных пластин (ba-tilamina test) *in situ* (Werner, 1998).

Исследования влияния проведенной рекультивации на микробную биомассу аллювиальных почв показали, что биомасса микроорганизмов в почвах злаково-ивкового луга и прилегающей к рекультивированному участку кромки в верхнем слое составила

примерно 58.5 мкг С/г почвы (рис. 1). В нижележащем слое почвы фонового участка микробная биомасса почти в два раза ниже – 33.5 мкг С/г почвы.

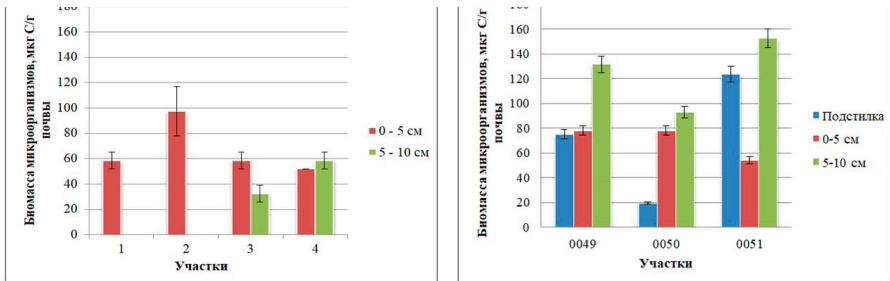


Рис. 1. Биомасса микроорганизмов рекультивированных участков поймы р. Амбарная (1 – Рекультивированный участок 2022 года; 2 – Рекультивированный участок 2021 года; 3 – Злаково-ивковый луг (фон); 4 – Граница между рекультивированным участком и фоновым) (А) и биомасса микроорганизмов аллювиальной почвы поймы р. Амбарная в 2023 году (0049 – лиственничник с преобладанием карликовой березы; 0050 – лиственничник на возвышенности; 0051 – лиственничник с вырубкой по гари 35-40 лет) (Б).

Распашка участка под рекультивацию, внесение торфа и сорбента не привели к изменению микробной биомассы, и она соответствует таковой в почве луга. Через год после рекультивации отмечено значительное увеличение биомассы микроорганизмов до 97.5 мкг С/г почвы.

Биомасса микроорганизмов почв редкостойных лиственничников поймы составила в лиственничнике с преобладанием карликовой березы на глубине 5–10 см и составила 132 мкг С/г почвы, в лиственничнике на возвышенности – 93 мкг С/г почвы. Наибольшая биомасса микроорганизмов наблюдалась в лиственничнике с вырубкой по гари в подстилочном горизонте и горизонте на глубине 5–10 см и составила 124 и 153 мкг С/г почвы соответственно (рис. 1). Это может быть связано с тем, что пожар привел к обогащению почвы легкогидролизуемым органическим веществом, азотом и зольными элементами и тем самым повысил функциональную активность микроорганизмов. В целом микробная биомасса почв редкостойных лиственничников значительно выше таковой злаково-ивкового луга. Возможно, это связано с большим количеством легкоразлагаемого опада и более благоприятными условиями влажности и температуры.

Данные эксперимента с приманочными пластинами (bait-lamina test) *in situ* выявил крайне низкую активность почвенной биоты – перфорация пластин не превысила 1%. Она была наибольшей в лиственничнике с преобладанием карликовой березы и составляла 0.1%, что практически в 3 раза больше чем на других участках (рис. 2).

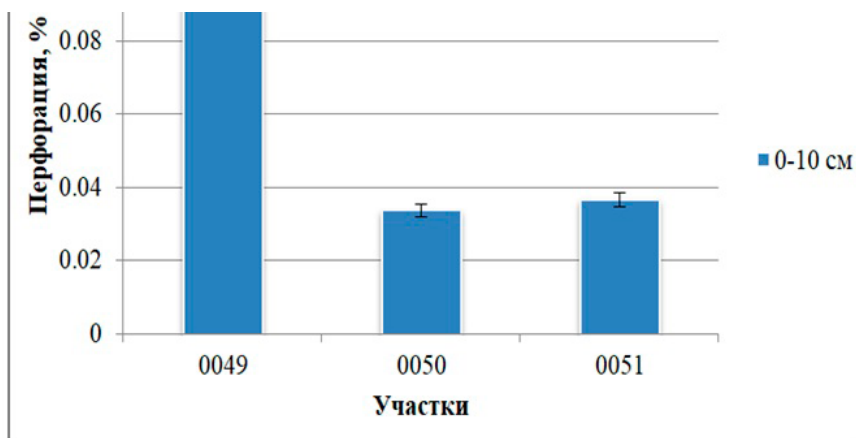


Рис. 2. Активность почвенной биоты поймы р. Амбарная (bait-lamina test) (0049 – лиственничник с преобладанием карликовой березы; 0050 – лиственничник на возвышенности; 0051 – лиственничник с вырубкой по гари 35–40 лет).

Таким образом, исследования биологической активности почв поймы р. Амбарная в зоне Норильского промышленного района показали, что микробная биомасса аллювиальной почвы колеблется в широких пределах и составляет 54–152.5 мкг С/г почвы. В первый год после проведения рекультивации после разлива нефтепродуктов в пойме происходит активизация биологических процессов и отмечено увеличение микробной биомассы в два раза. Bait-lamina test выявил крайне низкую активность биоты аллювиальной почвы исследованных местообитаний – она не превысила 1% перфорации приманочных пластин за 6 дней экспозиции *in situ*.

ЛИТЕРАТУРА

- Звягинцев, Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии : учебное пособие / Д.Г. Звягинцев. – Москва: МГУ, 1991. – С. 24–27.
- Казеев, К. Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований : учебное пособие / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, В. Ф. Вальков. – Ростов на Дону: РГУ, 2003. – 216 с.
- Юркевич, Н. В. Техногенное воздействие на окружающую среду в российской Арктике на примере Норильского промышленного района / Н. В. Юркевич, И. Н. Ельцов, В. Н. Гуреев, Н. А. Мазов, А. В. Еделев // Известия ТПУ. – 2021. – № 12. – С. 230–249.
- Werner, R. K. The bait-lamina test / R. K. Werner // Environmental Science and Pollution Research. – 1998. – № 5. – С. 94–96.

СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛЕРОДА В СОСТАВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЧВ

М. И. Ершова*, Е. И. Лю-Лян-Мин**

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

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

E-mail: marina_ershova_01@mail.ru

E-mail: gruzdeva.katua94@yandex.ru

Педосфера является важным резервуаром углерода, представленного органической и неорганической формами, содержание которых характеризует качество почвы для многих сфер деятельности человека. Неравномерная оснащённость химических лабораторий определяет использование различных методов и методик количественного измерения обеих форм элемента.

Крайне важно оценить надёжность всех используемых в настоящее время приёмов, чтобы обеспечить точные региональные сравнения запасов углерода на национальном, региональном и глобальном уровнях, а также осуществлять моделирование и долгосрочный прогноз динамики цикла углерода.

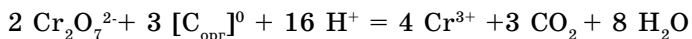
Цель работы – сравнить результаты измерения содержания углерода органических и неорганических соединений ($C_{\text{орг}}$ и $C_{\text{неорг}}$) карбонатных почв, полученные разными методами.

Район исследований находится в южной части циркумполярной зоны и охватывает горную ландшафтную зону Полярного Урала. В системе геоботанического районирования он расположен в Южнополярноуральском округе Камско-Печорско-западноуральской подпровинции Урало-западносибирской провинции (Геоботаническое..., 1989). В качестве объектов исследований выбраны девять почв, сформированные на карбонатных почвообразующих породах.

В таблице представлены методы измерения углерода в составе органических, неорганических соединений и их суммы. Для определения каждого показателя брали отдельную навеску образца почвы.

Измерение содержания углерода органических соединений в мировой практике почвоведения вот уже почти сто лет проводят дихроматометрическим методом. Одна из его модификаций – метод Уолкли-Блэка. Расчёт показателя проводят по стехиоме-

трической реакции окисления углерода хромой смесью до углекислого газа:



Таблица

Методы исследований

Методы	Объекты	Параметр	Обозначение и расчёт
Газовая хроматография / анализатор углерода EA-1110 (Carlo Erba, Италия)	Карбонатные почвы	Общий углерод	$C_{\text{общ}}$
	Бескарбонатные почвы	Органический углерод	$C_{\text{орг1}}$
Воломометрический метод / кальциметр (08.53 Eijkelkamp, США-Нидерланды)	Карбонатные почвы	Неорганический углерод	$C_{\text{неорг1}}$
Расчётный метод			$C_{\text{неорг2}}$
Газовая хроматография и воломометрический метод / анализатор и кальциметр	Карбонатные почвы	Органический углерод	$C_{\text{орг1}} = C_{\text{общ}} - C_{\text{неорг}}$
Дихроматометрический метод (метод Уолкли-Блёка)	Карбонатные и бескарбонатные почвы		$C_{\text{орг2}}$
Потенциометрия / ионометр универсальный (Анион-4100, Россия)		pH	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$

Данный подход не требует сложных современных средств измерений, однако его серьезным недостатком является неполное окисление, т.е. недоучет содержания органического вещества. Неполное окисление приводит к значительному занижению результатов измерений (Шамрикова и др., 2022). В связи с этим, результат измерений умножают на поправочный коэффициент 1.3.

В последние десятилетия в практике исследований почвоведов активно используются элементарные анализаторы углерода. Сжигание органических соединений и разложение карбонатов при температуре более 1000 имеет множество преимуществ, и признан золотым стандартом. При исследовании почв, содержащих карбонаты, необходимо дополнительное измерение содержания углерода неорганических соединений, что снижает точность определения углерода органических соединений. К недостаткам можно отнести высокую стоимость прибора, расходных материалов и технического обслуживания.

В волюмометрическом методе присутствующие в почве карбонаты разлагают раствором хлороводородной кислоты. По реакции рассчитывается содержание карбоната кальция, затем производится пересчёт на неорганический углерод. Этот метод экспрессен и экологичен. К недостаткам можно отнести присутствие соединений, взаимодействующих с раствором HCl с выделением SO_2 , H_2S и др, ограничение исследования почв, содержащих MgCO_3 и Na_2CO_3 .

Выполнен анализ почв на карбонатных породах с $\text{C}_{\text{орг}}$ (0–54%) и $\text{C}_{\text{неорг}}$ (0–7%) (рис.), карбонатность (0–100%) разными методами. Для почв с содержанием карбонатов 0–100% и $\text{C}_{\text{орг}} < 8.7\%$ согласованные результаты измерений $\text{C}_{\text{орг}}$ на анализаторе и дихроматометрическим методом (Уокли-Блэка) были получены с применением коэффициентов пересчета (1.3), учитывающим неполное окисления $\text{C}_{\text{орг}}$. При более высоком содержании органического углерода для почв изучаемой территории коэффициент в методе Уолкли-Блэка снижался до 1.18.

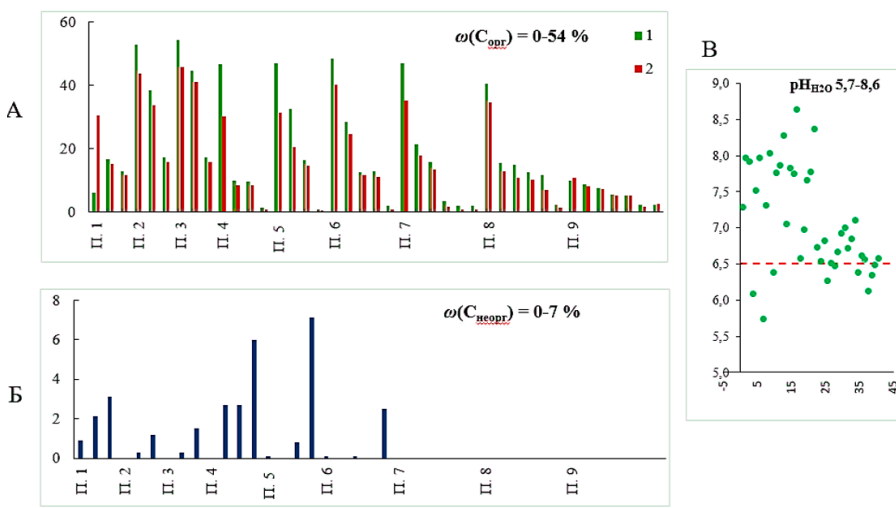


Рис. Массовая доля (%) углерода органических (А), неорганических (Б) соединений и величина $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ (В) в образцах почв. Условные обозначения в графике А: 1 – измерение по разности общего (анализатор) и неорганического углерода (кальциметр); 2 – дихроматометрический метод.

Нами экспериментально доказана возможность использования дихроматометрического метода во всем исследуемом диапазоне значений углерода органических соединений. Это подтверждает относительное расхождение содержания углерода, измеренное двумя методами, не превышающее 20%.

Стабильные результаты оценки содержания $C_{\text{неорг}}$ расчётным методом получены для почв с $(C_{\text{неорг}}) > 2.3\%$. Это ставит под сомнение возможность использования данного приёма для оценки содержания углерода неорганических соединений почв ниже данного придела. Использование двух методов (газовая хроматография и дихроматометрический метод) обуславливает существенную трудоемкость анализа, высокую его стоимость и работу с вредными реагентами.

Наиболее актуальным решением для анализа обеих форм углерода в почвах представляется приобретение анализатора и кальциметра.

Исследование выполнено в рамках бюджетной темы НИР «Криогенез как фактор формирования и эволюции почв арктических и бореальных экосистем европейского Северо-Востока в условиях современных антропогенных воздействий, глобальных и региональных климатических трендов» (№ 122040600023-8).

ЛИТЕРАТУРА

Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. – Л.: Наука, 1989. – 64 с.

Шамрикова, Е. В. Подходы и методы изучения органического вещества почв / Е. В. Шамрикова, Е. В. Ванчикова, Б. М. Кондратёнок, Е. М. Лаптева, С. Н. Кострова // Почвоведение. – 2022. – № 7. – С. 787–794.

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЕЛЬНИКОВ КУСТАРНИЧКОВО-ЗЕЛЕНОМОШНЫХ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

В. Н. Иванова, М. А. Данилова, Н. В. Лукина

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

E-mail: Lv.val.lentina@gmail.com

Исследование цикла углерода в лесах отличается высокой актуальностью в связи с изменением климата, которое объясняется повышением концентраций углеродсодержащих и других парниковых газов. Леса поглощают парниковые газы, в почвах лесных экосистем аккумулируется до 50% углерода и больше, пространственное варьирование запасов углерода весьма существенно. Растительность – важный фактор, определяющий распределение запасов почвенного углерода в лесах (Кузнецова, 2021). При этом наиболее существенное влияние осуществляется через характеристики опада (его количества и качества), как главного источника органического вещества (Семенюк, 2020).

Цель исследования – оценить влияние растительности на запасы углерода в почвах ельников кустарничково-зеленомошных на северном пределе их распространения.

Объект исследования – почвы еловых лесов подзоны северной тайги. Работы проводились в центральной части Кольского п-ва в сопряженном ландшафте южного берега оз. Умбозеро (Манков, Никонов, 1981). Выделено 3 элементарных геохимически сопряженных ландшафта – автоморфный, транзитный и аккумулятивный, в каждом по 3–4 доминирующих элементарных биогеоареала (Орлова, 2013) (в подкروновых и межкروновых пространствах). В автоморфной позиции на подзоле иллювиально-железистом (Carbic Podzols) формируется ельник чернично-зеленомошный, в котором идентифицировано 4 ЭБГА: еловый кустарничково-зеленомошный (далее ЕКЗ) (доминирующие растения: ель, зеленый мох, черника, вороника), кустарничково-зеленомошный (далее КЗ) (доминируют черника, вороника, дерен, брусника, зеленые мхи, луговик), ельник мертвопокровный (далее ЕМП) (ель, единично брусника), еловый подрост (далее ЕМ) (доминируют ель, зеленые мхи, черника, вороника). В ельнике зеленомошно-деренно-вороничном с примесью березы транзитного ландшафта формируются подзолы иллювиально-гумусовые (Rustic Podzols) выделено 4 ЭБГА: ЕКЗ (доминируют ель, зеленые мхи, вороника), КЗ (доминируют дерен, вороника, луговик, единично иван-чай), ЕМП (ель), березовый (далее Б)

(доминируют береза, зеленые мхи, дерен, вороника). В ельнике зеленомошно-багульниково-сфагновом аккумулятивного ландшафта формируется торфяно-подзол глеевый (Gleyic Podzols), выделено 3 ЭБГА: ЕКЗ (доминируют ель, багульник, единично зеленые мхи и вороника), багульниковый (далее БГ) (доминируют багульник, единично зеленые мхи) и сфагновый (далее СФ) (доминируют сфагновые мхи, единично морошка).

В автоморфном ландшафте суммарный запас углерода отличается в разных ЭБГА, демонстрируя максимальные значения в подкروновых ЭБГА, формируемых древостоями старше 100 лет (ЕМП и ЕКЗ) – 73.2 и 71,5 т га⁻¹, соответственно (50.2 и 48.6 т га⁻¹ в КЗ и ЕМ). Запас углерода в слое подстилки LFH уменьшается в ряду: ЕМП-ЕМ-КЗ-ЕКЗ от 36.6 до 20.1 т га⁻¹, что может свидетельствовать о низкой скорости разложения органического вещества в мертвопокровном ЭБГА. Однако в слое 0–30 см, включающим в себя минеральные горизонты, запасы углерода уменьшаются в ряду: ЕКЗ-ЕМП-КЗ-ЕМ от 50.8 до 24.4 т га⁻¹. Полученные результаты говорят о большом количестве растительного опада в ЕКЗ, который быстро перерабатывается почвенной биотой и мигрирует в нижние горизонты почвы.

В транзитном ландшафте не выявлено статистических различий в запасе углерода всего почвенного профиля между ЭБГА. Показатели варьируют от 35.2 т га⁻¹ в Б до 47.0 т га⁻¹ в КЗ. Также значимых различий не выявлено в минеральном слое почв 23.3–14.9 т га⁻¹. В слое подстилки минимальное количество депонированного углерода наблюдается в березовом ЭБГА – 16.1 т га⁻¹ (21.0–23.7 т га⁻¹ в остальных ЭБГА), что связано с особенностями березового листового опада – он легко разлагается, поэтому быстро перерабатывается.

В аккумулятивном ландшафте не выявлено статистически значимых различий в запасе углерода почвенного профиля между ЭБГА (58.1–66.0 т га⁻¹). Также не наблюдается различий в запасах углерода в подстилке (31.9–57.0 т га⁻¹) и минеральном слое почв (24.0–26.2 т га⁻¹) между ЭБГА.

Независимо от ландшафта, в межкروновых ЭБГА запасы углерода в подгоризонте L меньше, чем в подкروновых, тогда как в подгоризонте F, напротив, здесь депонируется максимальный запас углерода. Выявленная зависимость может быть связана с меньшим количеством опада в межкروновых участках, более высокой скоростью разложения опада кустарничков.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что растительность значимо влияет на запасы почвенного углерода в еловых лесах северной тайги. Особенно это влияние выражено в автоморфных ландшафтах и органогенных горизонтах почвы.

Работа выполнена в рамках молодежной лаборатории ЦЭПЛ РАН «Климаторегулирующие функции и биоразнообразие лесов» (регистрационный номер 122111500023-6).

ЛИТЕРАТУРА

Кузнецова, А. И. Влияние растительности на запасы почвенного углерода в лесах (обзор) / А. И. Кузнецова // Вопросы лесной науки. – 2021. – Т. 4. – № 4. – С. 1–54.

Манаков, К. Н. Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера / К. Н. Манаков, В. В. Никонов. – Л.: Наука, 1981. – 196 с.

Орлова, М. А. Элементарная единица лесного биогеоценотического покрова для оценки экосистемных функций лесов / М. А. Орлова // Тр. Карельского НЦ. Сер. Экологические исследования. – 2013. – № 6. – С. 126–132.

Семенюк, О. В. Оценка внутрибиогеоценотической изменчивости лесных подстилок и травянисто-кустарничковой растительности в еловых насаждениях / О. В. Семенюк, В. М. Телеснина, Л. Г. Богатырев, А. И. Бенедиктова, Я. Д. Кузнецова // Почвоведение. – 2020. – № 1. – С. 31–43.

БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КУЛЬТУР ЕЛИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРЕДЕЛАХ ПОСАДОЧНОГО МЕСТА

А. С. Ильинцев*, Н. А. Буньков**

*Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства

E-mail: a.ilintsev@narfu.ru

**Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова

E-mail: bunjkov.n@edu.narfu.ru

Восстановление лесных насаждений после заготовки древесины в основном происходит естественным путем, но на части сплошных вырубок, где отсутствует достаточное количество естественного лесовозобновления, создают лесные культуры. Правильный способ обработки почвы и посадки культуры может снизить затраты на всю цепочку искусственного лесовосстановления за счет их влияния на приживаемость и рост посаженных сеянцев, обилие естественного возобновления и конкуренцию в раннем развитии древостоя (Мочалов, 2014; Laine et al., 2020). В некоторых исследованиях отмечается различная эффективность роста сеянцев в зависимости от локализации посадочного места (Дебков, 2021). Особенно актуальный данный вопрос при новых способах обработки почвы с помощью экскаваторов, которые активно используются при обработке почвы на Европейском Севере России. Учитывая размеры, создаваемых микроповышений, предполагается несколько альтернативных мест для посадки сеянцев, подходящих для различных типов участков.

Цель исследования – оценить биометрические показатели культур ели в зависимости от локализации в пределах посадочного места для разработки почвенно-экологических критериев оценки качества условий произрастания основных лесообразующих пород.

Для реализации данной цели в 2023 году обследовали 5-летнюю лесокультурную площадь в Вилегодском лесничестве Архангельской области. Лесокультурная площадь представлена распространенными лесорастительными условиями (черничный тип леса) в таежной зоне. Почва на участке – мелкоподзолистая иллювиально-железистая супесчаная на среднем суглинке. Весной 2019 года на сплошной вырубке 2017 года была проведена частичная обработка почвы экскаватором путем создания микроповышений равномерно по площади. Летом были посажены

2-летние сеянцы ели с закрытой корневой системой (ЗКС) посадочными трубами. В одно микроповышение высаживалось по 2–3 сеянца для обеспечения 2000 посадочных мест на 1 га.

На лесокультурной площади провели детальную оценку состояния и роста изучаемых культур на 60 посадочных местах с живыми растениями, отбираемыми случайным образом. У здоровых экземпляров ели измерили следующие показатели: высоту – от поверхности почвы до верхушечной почки (см), приросты по высоте за последние 3 года (см), диаметр стволика на уровне поверхности почвы (см), длину главного корня (см) и длину боковых корней (см). У сеянцев отмечали места посадки в микроповышении, такие как центр, и края микроповышений. Для сравнения измерили биометрические показатели у 20 экземпляров произрастающего естественно подроста ели. Для установления различий в биометрических показателях культур ели в зависимости от места посадки применили тест Kruskal–Wallis ANOVA с последующим множественным сравнением средних рангов всех пар групп. Все анализы провели на 0.05 уровне вероятности. Данные анализировали с помощью программы Statistica версии 12.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

Результаты множественных сравнений показывают, что биометрические показатели надземной части сеянцев зависят от места посадки. Лучше всего растут сеянцы в центре микроповышений, где наблюдается меньшая вариация физических свойств и в меньшей степени воздействие нежелательной травянистой и древесной растительности при их зарастании. Высота сеянцев в центре выше на 21–22% по сравнению с краями микроповышений ($H=1.68$, $p=0.550$; $H=2.85$, $p=0.026$). Высота естественно возобновившихся экземпляров подроста в пасеке выше на 33–49%, чем высота сеянцев, и достоверно отличается от растений на краях микроповышений ($H=3.68$, $p=0.002$; $H=4.60$, $p=0.001$).

В центре микроповышений диаметр ели выше на 9–30%, по сравнению с краями микроповышений ($H=1.28$, $p=1.000$; $H=3.07$, $p=0.013$). Диаметр подроста выше на 21–45%, чем диаметр одновозрастных сеянцев, и достоверно отличается по краям микроповышений ($H=2.72$, $p=0.038$; $H=4.13$, $p=0.001$). Средний прирост ели за последние 3 года в центре микроповышений выше на 32%, чем на краю микроповышения у ямы ($H=2.32$, $p=0.123$), и достоверно выше на 33%, чем на краю микроповышения от ямы ($H=2.96$, $p=0.019$).

Средний прирост за 3 года подроста ели оказался выше на 31–54%, чем у сеянцев, растущих по краям микроповышений ($H=3.84$, $p=0.001$; $H=4.34$, $p=0.01$). Однако отсутствует достоверное различие с центром микроповышений ($H=2.02$, $p=1.000$).

Результаты дисперсионного анализа показали влияние места посадки на длину главного корня сеянцев между центром и краем микроповышений от ямы ($H=2.67$, $p=0.045$). При этом отсутствуют достоверные различия с подростом в пасеках ($H=0.53$, $p=1.000$; $H=1.28$, $p=0.100$; $H=1.57$, $p=0.703$).

Отсутствуют достоверные различия между длиной боковых корней сеянцев в микроповышениях. Хотя длина боковых корней у подроста достоверно выше на 45–54%, чем у сеянцев в микроповышении ($H=3.43$, $p=0.004$; $H=3.26$, $p=0.007$; $H=3.30$, $p=0.006$).

Таким образом, рост сеянцев ели с ЗКС зависит от посадочного места (центр, края микроповышения). Наименьшие биометрические показатели отмечаются у сеянцев, посаженных в края микроповышений. Это объясняется тем, что края микроповышения имеют различные модификации по строению посадочных мест в отношении свойств почвы. Там чаще встречается подзолистый горизонт в корнеобитаемом слое, бедный и легкий по гранулометрическому составу. Это может вызывать пересушивание почвы в летний период. Кроме того, края микроповышений быстрее зарастают травянистой и древесно-кустарничковой растительностью, которая может заглушать сеянцы. Преимущественным местом расположения сеянцев при посадке считается центр посадочного места, подготовленного экскаватором. Подрост, возникший естественным путем, имеет некоторые преимущества в биометрических показателях перед культурами, что, скорее всего, связано с тем, что культуры адаптируются к новым условиям среды в начальной фазе роста.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-01014, <https://rscf.ru/project/23-76-01014/>.

ЛИТЕРАТУРА

Мочалов, Б. А. Подготовка почвы и выбор посадочного места при создании лесных культур сосны из сеянцев с закрытыми корнями / Б. А. Мочалов // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2014. – № 4. – С. 9–18.

Дебков, Н. М. Опыт создания лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой / Н. М. Дебков // Изв. вузов. Лесн. журн. – 2021. – № 5. – С. 192–200.

Laine, T. Effects of spot mounding and inverting on growth of conifers, exposed mineral soil and natural birch regeneration / T. Laine, V. Kankaanhuhta, J. Rantala, T. Saksa // *Silva Fennica*. – 2020. – Vol. 54. – No. 5. – P. 1–11.

ЛИШАЙНИКИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОГО ГОРОДА НА ПРИМЕРЕ ПАРКА «КУРГАН» (г. ПЕТРОЗАВОДСК, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

М. П. Киркина*, В. Н. Тарасова**

*Петрозаводский государственный университет

E-mail: sou11essness404@gmail.com

**Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН

E-mail: tarasova1873@gmail.com

Из-за уязвимости к различным факторам среды, связанными как с естественными, так и антропогенными нарушениями, лишайники являются чувкими индикаторами различных типов загрязнения, а также биологически ценных лесов, которыми являются ненарушенные, старовозрастные, редкие или специфические для региона сообщества. Одни виды (индикаторные) имеют высокие требования к лесным микроусловиям и при их изменении их численность значительно снижается, другие (специализированные) – строго приурочены к специфическим условиям лесных местообитаний и при их сведении исчезают из сообществ (Конечная и др., 2009).

Парк «Курган» представляет собой лесной массив из сохранившихся естественных сообществ площадью 170 га, который вносит большой вклад в создание «зелёной зоны» города Петрозаводска, а также является местом обитания для охраняемых видов флоры и фауны. Парк имеет большое значение и для горожан: на территории расположена спортивная база лыжных видов спорта, а также места для активного отдыха.

Цель данной работы – изучение видового разнообразия лишайников и близких к ним грибов в растительных сообществах парка «Курган».

Исследование проводилось в сентябре 2023 г. маршрутным методом с заложением пробных площадей. Всего было заложено 30 ПП в 11 типах леса преимущественно еловой и мелколиственных формаций. На них выполнялись геоботанические описания, включающие в себя измерение таксационных характеристик древостоя (высота и диаметр ствола, относительная сумма площадей сечений стволов, сомкнутость крон), и определение давности нарушения (по древесным кернам).

Определение видов проводилось в лабораторных условиях стандартными методами, с использованием микроскопической техники, ультрафиолетовой камеры, реактивов и определителей.

В ходе исследования было обнаружено 157 таксона, среди которых 154 вида лишайников, 2 вида лишайнизированных и 1 вид лихенофильных грибов. Из них 20 видов являются новыми для территории ПетрГО, 3 – занесены в Красную книгу Республики Карелия, 2 – входят в перечень видов, рекомендованных для биологического надзора (Красная книга..., 2020) и 6 – индикаторы биологически ценных лесов (Конечная и др., 2009).

В лишенофлоре парка более 70% – это виды накипной жизненной формы, на листоватые и кустистые приходится 16% и 13%, соответственно.

В составе изученной лишенофлоры встречаются виды, относящиеся к 4 экологическим группам: эпифиты (116 видов), эпиксилы (28 видов), эпигеоиды (11 видов) и эпибриофиты (2 вида).

Обнаруженные виды относятся к 21 порядку, 43 семействам и 79 родам. Ядро лишенофлоры – порядок *Lecanorales*, включающий в себя 11 семейств, 35 родов и 79 видов. Ведущие семейства – *Ramalinaceae* (20 видов), *Parmeliaceae* (20) и *Lecanoraceae* (11); роды – *Cladonia* (10), *Lecanora* (9), *Micarea* и *Peltigera* (по 7 видов). Таким образом, по систематическому составу лишенофлора типична для среднетаежных сообществ.

Наибольшее число видов обнаружено на ели (59), на лиственных деревьях (рябина, ольха серая, ива, осина, черёмуха) обнаружено 57, 55, 48, 46, 30 видов, соответственно. Наименьшее число видов выявлено на сосне (22) и берёзе (18). Видовой состав лишайников на разных видах форофитов существенно различается, что видно по значениям попарного сравнения видовых списков лишайников, обнаруженных на разных видах форофитов, при помощи индекса флористического сходства Жаккара (табл.).

Таблица

Значения попарного сравнения индексом видового сходства Жаккара, рассчитанного для видовых списков лишайников, обнаруженных на разных видах форофитов

	<i>Alnus incana</i>	<i>Betula sp.</i>	<i>Padus avium</i>	<i>Picea sp.</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Populus tremula</i>	<i>Salix sp.</i>	<i>Sorbus aucuparia</i>
<i>Alnus incana</i>	–	0.18	0.39	0.20	0.13	0.25	0.41	0.40
<i>Betula sp.</i>		–	0.07	0.22	0.25	0.19	0.08	0.17
<i>Padus avium</i>			–	0.16	0.16	0.21	0.30	0.34
<i>Picea sp.</i>				–	0.35	0.17	0.11	0.21
<i>Pinus sylvestris</i>					–	0.15	0.04	0.14
<i>Populus tremula</i>						–	0.32	0.27
<i>Salix sp.</i>							–	0.35

Значения коэффициента изменяются от 0.07 до 0.41, что свидетельствует о низкой и средней степени сходства. Это говорит о том, что видовая структура древостоя – одна из важнейших характеристик сообщества, определяющая потенциальное разнообразие лишайников. Довольно четко выделяется две группы форофитов, сходных по видовому составу лишайников, но резко отличающиеся между собой: первая группа – недолгоживущие лиственные деревья с гладкой корой (*Alnus incana*, *Padus avium*, *Salix* sp., *Sorbus aucuparia*), вторая – хвойные деревья (ель, сосна) и береза. Промежуточное положение между ними занимает осина, которая, в силу своих эколого-морфологических особенностей, имеет довольно специфический видовой состав участников эпифитного покрова, слабо пересекающийся как с хвойными, так и с другими лиственными видами деревьев.

Несмотря на то, что территория парка испытывает антропогенное влияние, на исследованной площади в 1.88 га было обнаружено 38% лишенофлоры ПетрГО (База данных..., 2016). Богатство лишенофлоры достигается за счет разнообразия пород, сложной видовой и возрастной структуры древостоя, наличия мертвых растительных остатков на разных стадиях разложения.

Исследования выполнены в рамках государственного задания БИН РАН «Растительность Европейской России и Северной Азии: разнообразие, динамика, принципы организации» (№ 121032500047-1).

ЛИТЕРАТУРА

- Тарасова, В. Н. База данных «Лишайники г. Петрозаводска» / В. Н. Тарасова, А. В. Сони́на, В. И. Андросова. – Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016620538 от 02.03.2016.
- Конечная, Г. Ю. Выявление и обследование биологически ценных лесов на Северо-Западе Европейской части России. Т. 2. Пособие по определению видов, используемых при обследовании на уровне выделов / Г. Ю. Конечная, Л. Е. Курбатова А. Д. Потемкин, Д. Е. Гимельбрант, Е. С. Кузнецова, И. В. Змитрович, В. М. Коткова, В. Ф. Малышева, О. В. Морозова, Е. С. Попов, Е. Б. Яковлев, L. Andersson, П. В. Кияшко, G.Skujien. – ООО Победа, 2009. – 261 с.
- Красная книга Республики Карелия / А. В. Артемьев, И. А. Барышев, М. А. Бойчук [и др.]. – Белгород: Общество с ограниченной ответственностью «КОНСТАНТА», 2020. – 448 с.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДОРАСТВОРИМОЙ ФРАКЦИИ ПОЧВ НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

М. А. Королёв*, **, Е. В. Шамрикова**, Е. В. Жангуров**, О. С. Кубик**

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

E-mail: korolev.m@ib.komisc.ru

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

E-mail: shamrik@ib.komisc.ru; zhan.e@mail.ru; kubik-olesia@yandex.ru

К настоящему времени общие географо-генетические закономерности и региональные особенности почв на карбонатных породах (КП) выявлены в широком спектре природных зон: от северной тайги до южной лесостепи, в условиях гумидного или субгумидного климата. Однако химический состав водорастворимой фракции данных почв исследован недостаточно. Водорастворимые компоненты почв влияют на почвообразование и сток воды, а также состав рек, ручьев и озер.

Почвенный покров гор высокой евразийской Арктики практически не изучен. Одними из наименее исследованных на Полярном Урале являются почвы, сформированные на продуктах выветривания плотных КП.

Целью работы является выявление закономерностей формирования состава водорастворимой фракции почв на КП и водотоков северной части хребта Большой Пайпудынский (Полярный Урал). Район исследований находится в южной части циркумполярной зоны и охватывает горную ландшафтную зону Полярного Урала (67°13'29" N; 65°38'17" E). Согласно геокриологическому районированию для этой зоны характерна островная мерзлота (Oberman and Mazhitova, 2001).

Полевые исследования проводили методом заложения катены с протяженностью около 1.5 км в северной части хребта Большой Пайпудынский на правом берегу руч. Развильный, где широко развиты выходы массивных мраморизованных известняков на дневную поверхность, имеющих нижедевовонский возраст (Шамрикова и др., 2020). В качестве непосредственных объектов исследования выбрано семь ключевых участков (уч.) в горно-тундровом поясе на высотном профиле (рис.).

В биомассе растений содержится значительное количество различных химических веществ и соединений, поступающих

в почву, что послужило причиной дополнительного изучения состава биомассы. Показатель актуальной кислотности вытяжек из наземной фитомассы колеблется в диапазоне pH_{H_2O} 5.5–6.6. Наименьшими значениями pH отличаются водные вытяжки растительного материала уч. 1-ПУ, 5-ПУ, 7-ПУ. Содержание углерода водорастворимых органических соединений в растительном материале большинства участков соответствует 70–100 г/кг с максимальным значением в фитомассе уч. 3-ПУ. Наиболее обеднена органическим углеродом водная вытяжка из надземной фитомассы сообщества 8-ПУ. Водорастворимый азот растительного материала всех участков представлен только органической формой. Содержание $N_{орг}$ колеблется в диапазоне от 0.4 (уч. 8-ПУ) до 5.8 г/кг (уч. 7-ПУ).

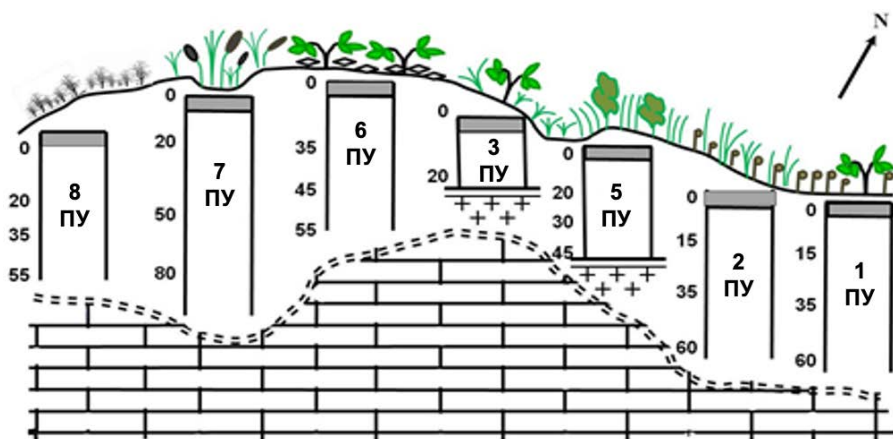


Рис. 1. Распределение объектов исследования на ландшафтно-геоморфологическом профиле.

Растительный материал сообщества уч. 8-ПУ характеризуется не только минимальным содержанием водорастворимых органических соединений, но и самой низкой суммарной концентрацией растворимых катионов (1.5 г/кг). Максимальное их содержание (32 г/кг) свойственно фитомассе высокотравного луга (уч. 7-ПУ). Для всех участков надземной фитомассы отмечено преобладание катионов К (45–60%), несколько ниже вклад Са (30–45%). К и Са принадлежит важная роль в адаптации растений к низким температурам. Содержание водорастворимых форм органического углерода, азота и суммы катионов легко растворимых солей наземной фитомассы различается более чем на порядок.

Исследуемые почвы характеризуются широким диапазоном значений рН водных вытяжек (от 5.6 до 8.5). Значения рН поверхностных горизонтов почв и растительного материала соответствующих участков взаимосвязаны ($R^2 = 0.62$). Максимальный контраст профиля наблюдается в почве под травянистой растительностью (уч. 7-ПУ), где в пределах 80-сантиметровой толщи значение pH_{H_2O} увеличивается от поверхности на 2.5 ед., что связано с положением данного участка в мезопонижении, существенной мощностью почвенного профиля и единичными включениями обломков мраморизированных обломков известняка.

Содержание растворимых форм углерода и азота в горизонте О почв на порядок меньше по сравнению с фитомассой. Для всех почв характерно накопление органических форм обоих элементов в поверхностных горизонтах. Массовая доля е катионов в поверхностных горизонтах О почв на 1–1.5 порядка меньше, чем в фитомассе соответствующих участков за счет кратного уменьшения масс Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ . В гумусовых горизонтах участка 7-ПУ сумма катионов достигает 0.5 г/кг, что сопоставимо с показателем, полученным для черноземов. В минеральных горизонтах общая концентрация катионов не превышает 0.1 г/кг. В относительном составе водорастворимых катионов повышается роль Ca^{2+} за счет K^+ (50–70 и 12–34% соответственно).

Процесс формирования химического состава природных вод весьма сложен. В исследуемом регионе Полярного Урала основными источниками питания рек являются атмосферные осадки (снеговые и дождевые воды), а также талые воды ледников. Концентрация водорастворимой фракции органического углерода всех объектов поверхностных вод ниже предела обнаружения. Вероятно, факт преимущественного атмосферного и ледникового питания водоемов, в первую очередь определяет отсутствие растворенного органического углерода в поверхностных водах изучаемой территории. Преобладание поверхностного питания рек определяет также низкую минерализацию и жесткость вод всех изучаемых объектов. Воды квалифицируются как ультрапресные (сумма солей ниже 200 мг/дм³) и “очень мягкие” (молярная концентрация эквивалентов Ca^{2+} и $Mg^{2+} < 1$ ммоль/дм³). Относительный состав ионов поверхностных вод и вытяжек из минеральных горизонтов почв аналогичны.

Таким образом, для исследуемого региона Полярного Урала впервые получен новый и оригинальный материал о компонентном составе водных вытяжек из почв и растительного материала, а также и водотоков. В пределах каждого участка выявлено

существенное изменение состава и содержания водорастворимых компонентов в системе наземная фитомасса–водорастворимая фракция почв–поверхностные воды.

Исследования выполнены в рамках гранта РФФ № 24-27-00231 «Карбонатные почвенно-мерзлотные геосистемы Полярного Урала: полигенез, эволюция, классификация»

ЛИТЕРАТУРА

Шамрикова, Е. В. Почвы и почвенный покров горно-тундровых ландшафтов Полярного Урала на карбонатных породах: разнообразие, классификация, распределение углерода и азота / Е. В. Шамрикова, Е. В. Жангуров, Е. Е. Кулюгина, М. А. Королев, О. С. Кубик, Е. А. Туманова // Почвоведение. – 2020. – № 9. – С. 1053–1070. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20090154>.

Oberman, N. G. Permafrost dynamics in the North-East of European Russia at the end of the 20th century / N. G. Oberman, G. G. Mazhitova // Norsk Geografisk Tidsskrift – Norwegian J. Geography. – 2001. – Vol. 55. – N 4. – P. 241–244.

РАЗРАБОТКА АДСОРБЕНТА НА ОСНОВЕ BN, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕРОМ (2-ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТ) ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УДАЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ АНТИБИОТИКОВ ИЗ ВОДЫ

К. Ю. Котякова, Л. Ю. Антипина, Д. В. Штанский

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

E-mail: kristinkagudz@mail.ru

За последние десятилетия произошел резкий рост фармацевтической промышленности, это обусловлено возникновением новых инфекционных заболеваний и в общем увеличением потребления лекарств во всем мире. За годы пандемии Covid-19 загрязнение воды, вызванное остатками терапевтических препаратов, резко усугубилось, поскольку миллионы пациентов во всем мире ежедневно потребляли большое количество лекарств. Загрязнение сточных вод антибиотиками является одной из серьезных социальных и экологических проблем в настоящее время, т.к. их присутствие в водной среде представляет риск не только для водных организмов, но также отрицательно влияет на здоровье человека. Сообщалось, что из 71% земной поверхности, покрытой водой, только менее 1% воды пригодно для питья по международным стандартам из-за наличия различных загрязнений. Все это свидетельствует о высокой актуальности и научной значимости данного исследования, направленного на разработку эффективных методов и новых способов обнаружения и удаления антибиотиков из водной среды.

Данное исследование направлено на разработку устойчивого композитного материала с помощью простых, недорогих и оперативных процедур модификации. В качестве основы выбран гексагональный нитрид бора (BN), модифицированный полимером 2-гидроксиэтилметакрилат (pHEMA), для повышения эффективности удаления антибиотиков из сточных вод. Сорбционные способности были изучены в отношении тетрациклина (TC) и линезолида (LNZ). Установлено, что процент удаления и максимальная адсорбционная способность через 24 ч сильно зависят от начальной концентрации антибиотиков в воде. Значения максимальной адсорбционной емкости pHEMA/BN составили 612.8 и 491.2 мг/г в отношении TC и LNZ, что значительно выше значений чистого образца BN 502.8 и 340.6 мг/г соответственно. Это еще раз подтверждает, что модификация BN полимером pHEMA повышает эффективность адсорбента.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФ проект № 21-79-10411.

ПОЧВЕННАЯ ЭМИССИЯ CO₂ В СОСНЯКЕ БРУСНИЧНО-ЛИШАЙНИКОВОМ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Р. В. Кудрявцев*, **

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

**Сыктывкарский лесной институт

E-mail: KudriavtsevRoman@mail.ru

Исследования отечественных и зарубежных авторов подтверждают, что глобальное потепление климата уже превысило 1 °C в сравнении с доиндустриальным периодом (Peters, 2020, Олссон, 2011). Это в свою очередь сказалось на углеродном балансе экосистем, так как для большинства изученных территорий выявлена прямая зависимость почвенной эмиссии CO₂ и дыхания растений от температуры окружающей среды (Curiel Yuste, 2004).

Для оценки вклада почвенной эмиссии CO₂ в глобальные углеродные циклы необходимо иметь достаточно данных о влиянии экологических факторов на этот процесс. В Республике Коми инструментальные наблюдения за почвенным дыханием выполнены только в лесных фитоценозах Сыктывдинского и Княжпогостского районов (Осипов, 2018; Кузнецов, 2022). Таким образом, актуальность данной работы заключается в получении новых знаний о почвенной эмиссии диоксида углерода в других районах республики, где подобные исследования ранее не проводились.

Цель работы – изучить влияние климатических и эдафических факторов на эмиссию диоксида углерода с поверхности почвы в сосняке бруснично-лишайниковом равнинной части Печоро-Илычского заповедника.

Для достижения поставленной цели были поставлены задачи: измерение потока CO₂ с поверхности почвы в течение вегетационного сезона при различных погодных условиях; выявление факторов, определяющих изменчивость процесса в пространстве и во времени; определение перспектив проведения исследований почвенных и общих экосистемных потоков диоксида углерода на территории заповедника.

Исследование проводили с конца мая по середину августа 2022 года. Сосняк бруснично-лишайниковый располагался на территории равнинного участка Печоро-Илычского заповедника в 1 км к северо-востоку от пст. Якша. Изучение территории проводили методами наземных и дистанционных наблюдений. На выбранном участке леса была заложена пробная площадь

размером 50x50 м. Древостой представлял собой чистый сосняк без подлеска. В живом напочвенном покрове преобладали лишайники рода *Cladonia*, встречались зелёные мхи, брусника и черника. Почва – иллювиально-железистый подзол с малой мощностью органического горизонта. В центре пробной площади выбрали 4 учётные площадки (УП), на каждой из них разместили ПВХ-воротники, углубленные в почву на 5–10 см. На УП 1-3 напочвенный покров оставили нетронутым, а на УП-4 надземную фитомассу полностью удалили, чтобы оценить её вклад в суммарный поток CO_2 с поверхности почвы. Воротники располагались на разном расстоянии от ствола крупной сосны (1, 2, 3 и 4 м для УП-1, УП-2, УП-3 и УП-4 соответственно).

Для измерений потока CO_2 с поверхности почвы (R_s) применяли инфракрасный газоанализатор Licor 8100A с круглой металлической камерой закрытого типа диаметром 20 см. Инструментальные измерения осуществляли один раз в неделю в течение сезона днём и один раз в месяц в течение суток. Температуру и влажность регистрировали с помощью камеры газоанализатора и датчиков Нобо, а данные о количестве осадков использовали с метеостанции «М-2 Якша». Статистический анализ результатов измерений выполнен в программах R и MS Excel. В корреляционном анализе учитывали влияние на скорость эмиссии CO_2 факторов: температуры (T_b) и влажности (RH_b) воздуха, температуры ($T_{\text{пов}}$) и влажности ($\text{RH}_{\text{пов}}$) поверхности почвы, влажности почвы на глубине 5 и 20 см (WN_5 и WN_{20}), температуры почвы на глубине 5 и 20 см (T_5 и T_{20}).

В результате анализа первичных данных установлено, что наибольшее влияние на R_s оказывают T_b , T_5 и WN_{20} . Данный факт согласуется с результатами исследований в лесах других регионов России (Махныкина, 2016; Громова, 2020). Положительная связь R_s с T_b и T_5 обусловлена реакцией микроорганизмов (Kandeler, 1998). Повышение WN_{20} замедляло R_s , поскольку влага могла выступать в качестве физического барьера для передвижения газовых молекул, в том числе CO_2 , в почве. В середине августа наблюдали обратное явление, когда R_s заметно увеличился после экстремальных осадков. Подобное явление наблюдали при измерениях почвенной эмиссии в Китае (Sun, 2022).

Несмотря на различие в структуре живого напочвенного покрова в трёх точках измерений, средние значения R_s за сезон между ними оказались близки. Несколько более высокие значения эмиссии на УП-1, вероятно, были связаны с более близким положением относительно ствола дерева. Известно, что под кронами деревьев углерод запасается в почве больше, чем в межкрупном пространстве (Лукина, 2019), а почва содержит больше корней деревьев, которые также влияют на почвенную эмиссию CO_2 .

Полученные результаты хорошо согласуются с ранее опубликованными данными других авторов. Прямая связь почвенного дыхания с температурой воздуха и обратная связь с влажностью почвы установлена в таёжных лесах России и за рубежом (Махныкина, 2020; Schlesinger, 2000). Сезонный максимум наблюдали в середине июля, однако он может смещаться в зависимости от погодных условий (Осипов, 2018).

К выбранному участку прилегают другие типы биогеоценозов, которые могут стать объектом дальнейших исследований. Перспективно изучение почвенного дыхания на переходных участках от сосняка к болоту, поскольку площадь таких участков велика и может вносить заметную погрешность в оценку суммарной почвенной эмиссии CO_2 лесного ландшафта.

По результатам исследования было установлено, что почвенный поток CO_2 в сосняке бруснично-лишайниковом постепенно увеличивается после схода снежного покрова, по мере прогревания почвы, и достигает сезонного максимума в середине июля ($2.24 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$). Установлена прямая связь почвенного дыхания с температурой и обратная с влажностью почвы. Экстремальные осадки вызывали усиление эмиссии CO_2 . Почвенное дыхание незначительно повышалось вблизи стволов деревьев. Изучение почвенного дыхания на данном участке и прилегающих территориях будет продолжено.

Данные по сезонному ходу интенсивности почвенного дыхания в сосняке бруснично-лишайниковом и влиянию на него экологических условий необходимы при проектировании лесохозяйственной деятельности в данной группе типов леса, поскольку ведётся активное освоение таких типов леса на территории Троицко-Печорского района.

Оборудование для проведения измерений предоставлено ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Автор также выражает благодарность Мигловцу М. Н. за консультации и помощь в сборе полевого материала.

ЛИТЕРАТУРА

Громова, М. С. Температурная чувствительность (Q_{10}) базального дыхания как функция количества доступного углеродного субстрата, температуры и влажности / М. С. Громова, А. И. Матвиенко, М. И. Макаров, Ш. К. Ченг, О. В. Меняйло // Почвоведение. – 2020. – № 3. – С. 366–371.

Кузнецов, М. А. Эмиссия диоксида углерода с поверхности болотно-подзолистой почвы вырубki ельника черничного влажного (средняя тайга, Республика коми) / М. А. Кузнецов // Научные основы устойчивого управления лесами: Материалы Всероссийской научной конферен-

ции с международным участием, посвящённой 30-летию ЦЭПЛ РАН. – Москва, 2022. – С. 234–235.

Лукина, Н. В. Влияние растительности на характеристики лесных почв Республики Карелия / Н. В. Лукина, М. А. Орлова, О. Н. Бахмет, Е. В. Тихонова, Д. Н. Тебенькова, А. И. Казакова // Почвоведение. – 2019. – № 7. – С. 827–842.

Махныкина, А. В. Динамика потоков CO_2 с поверхности почвы в сосновых древостоях Средней Сибири / А. В. Махныкина, А. С. Прокушкин, Е. А. Ваганов, С. В. Верховец, А. В. Рубцов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. – 2016. – Т. 9. – № 3. – С. 338–357.

Махныкина, А. В. Влияние климатических факторов на эмиссию CO_2 из почв в среднетаежных лесах Центральной Сибири: эмиссия как функция температуры и влажности почвы / А. В. Махныкина, А. С. Прокушкин, О. В. Меняйло, С. В. Верховец, И. И. Тычков, А. В. Урбан // Экология. – 2020. – № 1. – С. 51–61.

Олссон, Р. Бореальные леса и изменение климата / Р. Олссон // Устойчивое лесопользование. – 2011. – №3 (28). – С. 27–38.

Осипов, А. Ф. Влияние межгодовых различий метеорологических характеристик вегетационного периода на эмиссию CO_2 с поверхности почвы среднетаежного сосняка бруснично-лишайникового (Республика Коми) / А. Ф. Осипов // Почвоведение. – 2018. – № 12. – С. 1455–1463.

Curiel Yuste, J. Annual Q_{10} of soil respiration reflects plant phenological patterns as well as temperature sensitivity / J. Curiel Yuste, I. A. Janssens, A. Carrara, R. Ceulemans // Global Change Biology. – 2004. – Vol. 10. – №. 2. – P. 161169.

Kandeler, E. The response of soil microorganisms and roots to elevated CO_2 and temperature in a terrestrial model ecosystem / E. Kandeler, D. Tschirko, R. D. Bardgett, P. J. Hobbs, C. Kampichler, T. H. Jones // Plant and Soil. – 1998. – Vol. 202. – P. 251–262.

Peters, G. P. Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies / G. P. Peters, R. M. Andrew, J. G. Canadell, P. Friedlingstein, R. B. Jackson, J. I. Korsbakken // Nature Climate Change. – 2020. – Vol. 10. – №. 1. – С. 3–6.

Schlesinger, W. H. Soil respiration and global carbon cycle / W. H. Schlesinger // Biogeochemistry. – 2000. – Vol. 48. – P. 720.

Sun, Y. Influence of extreme rainfall events on soil carbon release in the Loess Hilly Region, China / Y. Sun, C. Liu, M. Zhao, L. Liu, S. Liang, Y. Wang, Y. Chen // Catena. – 2022. – Vol. 220. – P. 106–122.

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛИПИДОВ ПОЧВ ПОЛЯРНОГО УРАЛА НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ (ХРЕБЕТ БОЛЬШОЙ ПАЙПУДЫНСКИЙ)

Е. И. Лю-Лян-Мин, Е. В. Шамрикова, И. В., Груздев, Е. В. Жангуров

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: gruzdeva.katua94@yandex.ru

Почвы Полярного Урала, сформированные на продуктах выветривания плотных карбонатных пород, до настоящего времени остаются наименее исследованными из-за нахождения в районах, труднодоступных в транспортном отношении.

Для оценки динамики изменений, происходящих с органическим веществом почв, перспективно направление предполагающее применение маркерных соединений. В качестве таких соединений выступают органические молекулы известного происхождения, активно участвующие в химических и биохимических процессах, содержание которых в почве можно оценить физико-химическими методами анализа.

Самой представительной группой таких маркерных соединений почвы являются высшие карбоновые кислоты, входящие как в состав липидов почвенной микробиоты, так и содержащиеся в свободном виде. Каждая почва может быть охарактеризована индивидуальным набором жирных кислот, что позволяет с одной стороны выявить механизмы формирования почв на ионно-молекулярном уровне, с другой – решать классификационные вопросы (Розенцвиг, 2019).

Цель работы – исследование состава липидных компонентов почв Полярного Урала на карбонатных породах хроматографическими методами, а так же разработка новых методических подходов извлечения и определения липидных компонентов из почв.

Известные методики газохроматографического определения жирных кислот в почве предполагают проведение длительной пробоподготовки с обязательным разделением стадий извлечения и дериватизации анализируемых соединений. В данной работе нами рассматривается подход, предполагающий совмещение стадий экстракции и дериватизации анализируемых соединений.

Анализируемый образец почвы помещается в виалу, в которую также вводится метанол, выполняющий роль экстрагента и модифицирующего агента. Экстрагирование и дериватизация кислот происходит одновременно, что дает ряд преимуществ:

В наибольших количествах в исследуемых почвах содержатся линейные насыщенные карбоновые и дикарбоновые кислоты, а также мононенасыщенные кислоты линейного строения. Доля от суммарного содержания этих кислот в почве исследованных разрезов достигает 75–80% (рис. 2).

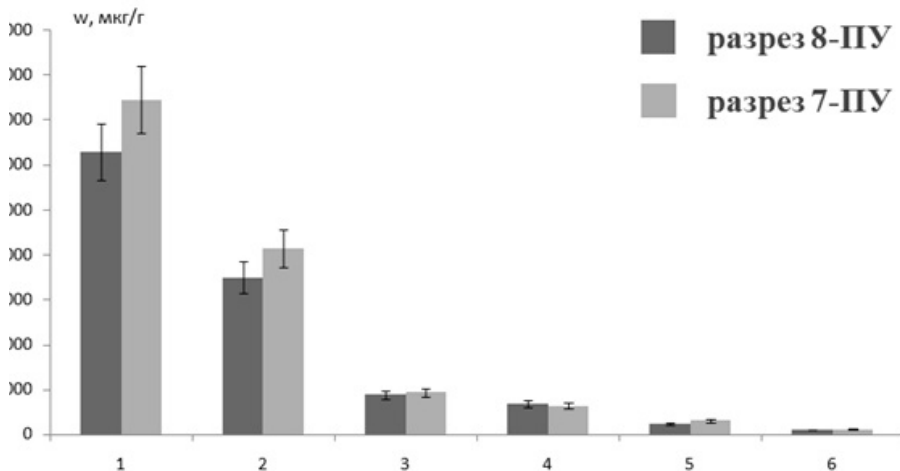


Рис. 2. Содержание жирных кислот в почве двух разрезов: суммарное (1), насыщенные (2), насыщенные дикарбоновые (3), мононенасыщенные (4), насыщенные нелинейного строения (5), насыщенные оксикарбоновые (6).

Показано, что предлагаемый нами подход позволяет количественно извлекать карбоновые кислоты (C_{12} – C_{30}) из почвенной матрицы и определять эти соединения в интервале содержания 10–1000 мг/кг, предел обнаружения – 2 мг/кг, относительная погрешность 10–15%, масса навески почвы – 0.2–0.5 г, общая продолжительность анализа – 4 часа.

Исследования выполнены в рамках гранта РНФ № 24–27-00231 «Карбонатные почвенно-мерзлотные геосистемы Полярного Урала: полигенез, эволюция, классификация».

ЛИТЕРАТУРА

Розенцвет, О. А. Липидные биомаркеры в экологической оценке почвенной биоты: анализ жирных кислот / О. А. Розенцвет, Е. В. Федосеева, В. А. Терехова // Успехи современной биологии. – 2019. – Т. 139. – № 2. – С. 161–177.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОКСОЛАТО- И ДИТИОНИТОРАСТВОРИМЫХ ФОРМ ЖЕЛЕЗА И АЛЮМИНИЯ В ПОЧВАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ ПОСЛЕ РУБКИ

И. В. Паюсова, В. В. Старцев, Д. А. Севергина, А. А. Дымов

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

e-mail: irina.payusova2016@yandex.ru

Деятельность человека приводит к существенному и часто необратимому изменению почвенного покрова. Рубки леса имеют очень широкое распространение (Дымов и др., 2017). Для них, как и для любого другого вида хозяйственной деятельности характерны негативные экологические последствия (Катаров и др., 2012). Железо и алюминий – одни из распространенных элементов в литосфере. Главными источниками накопления этих металлов в почвах являются первичные минералы почвообразующей породы. Гидроксид железа, так же как и гидроксид алюминия, может образовывать с органическими кислотами подвижные формы комплексных соединений способных перемещаться по профилю почвы (Козлова и др., 2014). Несмотря на освещение в литературе вопросов лесовосстановления и антропогенно-нарушенных почвах (Дымов, 2017; Дымов и др., 2022), остаются вопросы об изменении фракционного состава соединений химических элементов непосредственно после влияния лесозаготовок на природные компоненты почв, таких как железо и алюминий, их миграционные характеристики и изменениях в почвах.

Цель данной работы – оценить динамику изменения подвижных форм железа и алюминия в почвах в течение трёх лет после вырубki.

Для проведения эксперимента был подобран участок ельника чернично-зеленомошного на территории Сыктывдинского района Республики Коми. Согласно почвенно-географическому районированию исследуемая территория расположена в южной части Вымь-Вычегодского округа типичных подзолистых почв, иллювиально-железистых подзолов, торфянисто-подзолисто-глеватых иллювиально-гумусовых почв. Отбор почвенных образцов проводили с периодичностью один раз в месяц в течение вегетационного периода как в исходном лесу в 2020 году, так и в течение трех лет после рубки (2021–2023 гг). Содержание железа и алюминия, растворимых в кислом растворе оксалата аммония, измеряли методом атомно-эмиссионной спектрометрии. Для извлечения из почвы несиликатных соединений железа вне

зависимости от степени окристаллизованности использовали метод Мера-Джексона (Теория и практика..., 2006).

Исследования почв на содержание дитиониторастворимой формы железа (Fe_2O_{3dith}) выявили, что в верхнем горизонте почв содержание железа на протяжении 2020 года до сплошной рубки варьировало от 0.3% до 0.54% (рис.). В 2021 году, значение сократилось практически в 3 раза по сравнению с исходными данными. На третий год содержание Fe_2O_{3dith} возросло и приблизилось к исходным показателям. Для оксалоторстворимой формы железа (Fe_2O_{3ox}) наблюдается аналогичная динамика изменения содержания в почвах. Для исходного участка до рубки содержание железа в почвах меняется на протяжении вегетационного периода от 0.23% до 0.28%. На следующий год, значение незначительно снижается и практически не отличается от исходных. В 2023 году, значения изменяются скачкообразно. В сентябре 2023 года, данные приближаются к условно фоновым показателям.

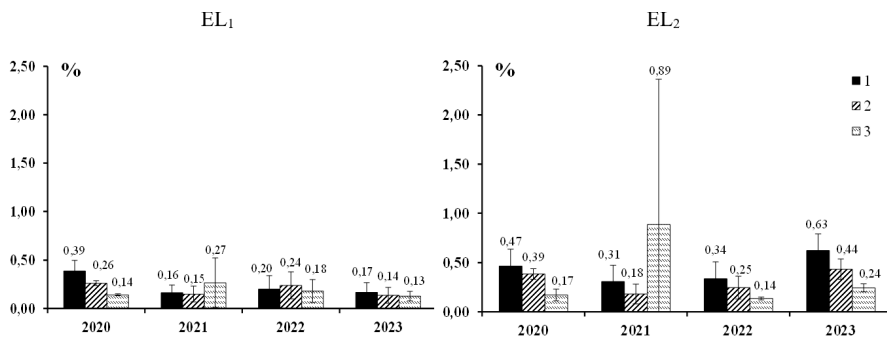


Рис. Среднее сезонное содержание железа и алюминия в верхних минеральных горизонтах (погрешность – ошибка среднего, n=4). Обозначения: 1 – Fe_2O_{3dith} , 2 – Fe_2O_{3ox} , 3 – Al_2O_{3ox} .

Исследования содержания оксалоторстворимой формы алюминия (Al_2O_{3ox}) позволили выявить, что для фонового участка в результате вырубki содержание Al_2O_{3ox} оставалось относительно одинаковым на протяжении всего вегетационного периода. В верхнем горизонте почв содержание железа до сплошной рубки варьировало от 0.06% до 0.15%. В 2021 году значение практически не изменилось по сравнению с исходными данными. На третий год содержание алюминия приблизилось к исходным значениям.

Таким образом, показано, что распределение дитионито- и оксалоторстворимых форм железа и алюминия в минеральных горизонтах имеет элювиально-иллювиальный тип распределения по профилю. Наблюдается вынос различных форм железа и алюминия из верхних минеральных горизонтов и аккумуляция в

середине почвенного профиля. Содержание оксалаторастворимых форм железа характеризуется близкими значениями с исходной почвой. Вероятно, увеличение содержания связано с изменениями в водном режиме исследованных почв. Содержание оксалаторастворимого алюминия слабо дифференцировано по профилю почв и сохраняется в течение трёх лет.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-74-10007, <https://rscf.ru/project/23-74-10007/>.

ЛИТЕРАТУРА

Дымов, А. А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) / А. А. Дымов // Почвоведение. – 2017. – № 7. – С. 787–798.

Дымов, А. А. Изменения почв и растительности при разном числе проездов колёсной лесозаготовительной техники (средняя тайга Республики Коми) / А. А. Дымов, В. В. Старцев, Н. М. Горбач, Д. А. Севергина, И. Н. Кутявин, А. Ф. Осипов, Ю. А. Дубровский // Почвоведение. – 2022. – № 11. – С. 1426–1441.

Катаров, В. К. Влияние форвардеров на лесные почво-грунты / В. К. Катаров, В. С. Сюнёв, Е. И. Ратькова, Ю. Ю. Герасимов // Resources and Technology: научный журнал. – 2012. – Т. 9. – № 2. – С. 73–81.

Козлова, А. А. Содержание различных форм железа в почвах Южного Предбайкалья / А. А. Козлова, В. Л. Халбаев, Т. С. Айсуева, А. Е. Егудуров, В. В. Нечаева, А. С. Мокрушина, Е. Г. Чиркова, А. В. Винокурова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 5-2. – С. 56–61

Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ СУХОГО ВЕЩЕСТВА ВДОЛЬ ПО СТВОЛУ У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Н. И. Плюха*, И. С. Цепордей**, В. А. Усольцев***

*Уральский государственный лесотехнический университет

E-mail: nikcskript@mail.ru

**Ботанический сад УрО РАН

E-mail: usoltsev50@mail.ru

Известно, что наличие воды в тканях растений фундаментально влияет на их метаболизм, а также на структуру и функционирование экосистем (Wang et al., 2022). Содержание сухого вещества (ССВ) (величина, обратная влажности) в фракциях фитомассы деревьев является ключевым признаком их функционирования. Поскольку вверх по стволу доля водопроницающей зоны ствола (ксилемы) увеличивается (Бюсен, 1961), то соответственно в том же направлении снижается ССВ в древесине (Исаева, 1963). Однако данные об изменении ССВ вдоль по стволу в литературе фрагментарны, а региональные особенности ССВ в стволах практически не изучены.

Цель нашего исследования – изучить региональные особенности изменения содержания сухого вещества вдоль по стволу у сосны обыкновенной. Для осуществления поставленной цели использована опубликованная база данных (Usoltsev, 2020), из которой взяты фактические данные о содержании сухого вещества в древесине и коре сосны обыкновенной разного происхождения четырех регионов. Исходные данные четырех регионов закодированы в виде блока фиктивных переменных (Дрейпер, Смит, 1973), который был включен в структуру регрессионной модели. В результате расчета модели получены зависимости: для ССВ древесины – $\ln SW = 2.5175 + 0.5736 \ln A - 0.0443 (\ln A)^2 - 0.1180 \ln D - 0.1860 \ln h - 0.0414 (\ln h)^2 - 0.0286 X_1 - 0.0736 X_2 + 0.0228 X_3$; $\text{adj}R^2 = 0.666$; $SE = 0.097$ (1), для ССВ коры – $\ln SB = 2.9218 + 0.4093 \ln A - 0.0441 (\ln A)^2 - 0.0699 \ln D - 0.1940 \ln h + 0.0143 X_1 - 0.0886 X_2 + 0.1743 X_3$; $\text{adj}R^2 = 0.521$; $SE = 0.142$ (2). В моделях (1) и (2) SW и SB – ССВ соответственно в древесине и коре, %; A – возраст дерева, лет; D – диаметр ствола на высоте груди, см; h – положение сечения ствола, в долях от его длины; X_i – код i -го региона.

Региональные сопоставления динамики ССВ вдоль по стволу сосны обыкновенной выполнены путем приведения их к сопоставимому виду, т. е. при условии равенства данных по возрасту и диаметру ствола. Поскольку возраст дерева и диаметр

ствола включены в структуру моделей, это можно выполнить путем введения в модели (1) и (2) средних значений возраста (31, год) и диаметра ствола (8,5, см). Тогда модели принимают вид: $\ln SW = 3.7123 - 0.1860 \ln h - 0.0414 (\ln h)^2 - 0.0286 X_1 - 0.0736 X_2 + 0.0228 X_3$ (3). $\ln SB = 3.6577 - 0.1940 \ln h + 0.0143 X_1 - 0.0886 X_2 + 0.1743 X_3$ (4).

Региональные различия показателей SW и SB , изменяющихся вдоль по стволу, наглядно представлены в геометрической интерпретации моделей (3) и (4), полученной путем подстановки в них значений относительной высоты (рис. 1 и 2).

Таким образом, установлено, что содержание ССВ снижается в направлении от основания к вершине ствола у деревьев сосны всех регионов. Наибольшей величиной ССВ в древесине и коре характеризуются естественные древостои южной тайги и наименьшей – культуры средней тайги.

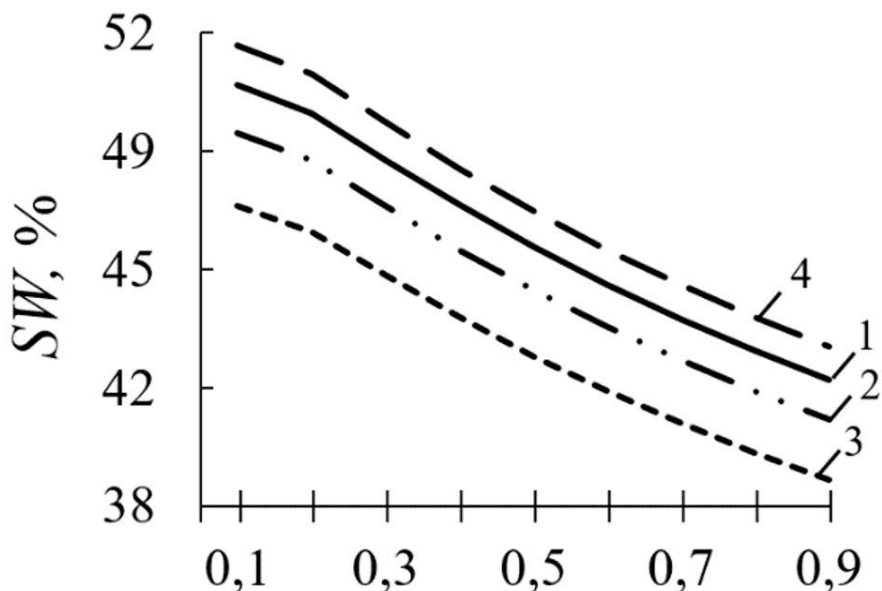


Рис. 1. Изменение расчетных значений ССВ древесины (SW , %) по относительной высоте ствола (h) по регионам и происхождению сосны. Здесь и далее: 1 – культуры степи и лесостепи; 2 – естественные древостои степи; 3 – культуры средней тайги; 4 – естественные древостои южной тайги.

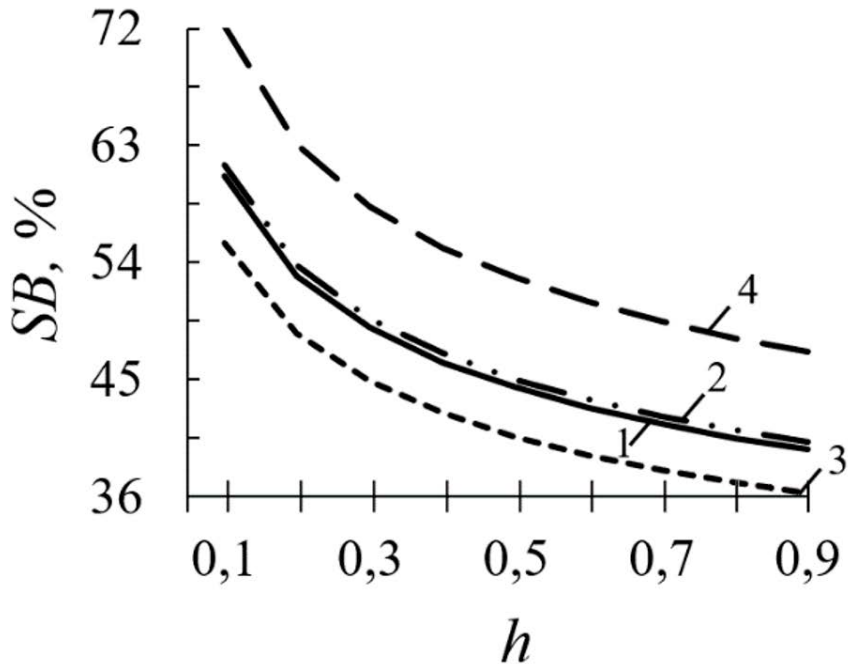


Рис. 2. Изменение расчетных значений ССВ коры (SB , %) по относительной высоте ствола (h) по регионам и происхождению сосны.

ЛИТЕРАТУРА

Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.

Бюсген, М. Строение и жизнь наших лесных деревьев / М. Бюсген. – М.: Гослесбумиздат, 1961. – 424 с.

Исаева, Л. Н. Особенности распределения влаги в различных частях древесины стволов кедра сибирского / Л. Н. Исаева // Труды института леса АН СССР. – 1963. – Т. 65. – С. 77-82.

Usoltsev, V. A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia: monograph / Usoltsev V. A. – Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, Botanical Garden of Ural Branch of RAS, 2020. (CD-ROM). (<https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649>).

Wang, Z. Leaf water content contributes to global leaf trait relationships / Z. Wang, H. Huang, H. Wang, J. Pecuelas, J. Sardans, Ü. Niinemets, K. J. Niklas, Y. Li, J. Xie, I. J. Wright // Nature Communications. – 2022. – Vol. 13. – Article 5525.

МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАКАЗНИКА «ПАРАСЬКИНЫ ОЗЁРА»

В. В. Резниченко

Печоро-Илычский государственный заповедник

E-mail: valerre@inbox.ru

Полевые работы по мониторингу антропогенной нагрузки на территории заказника «Параськины озёра» проводились с июня 2022 года. Для данной цели было заложено 10 пробных площадей с разной степенью нарушенности напочвенного покрова. Две пробные площади отнесены к категории «фоновые», две к категории «слабо нарушенные», две к категории «средне нарушенные», две к категории «сильно нарушенные», две к категории «голые участки». Фоновые пробные площади расположены на максимальном удалении от объектов рекреации, в напочвенном покрове доминируют лишайники (в частности, *Cladonia stellaris*). При отсутствии антропогенной нагрузки данные лишайники образуют сплошной покров. Лишайники плохо переносят присутствие соседних растений, в частности трав и кустарничков (1).

Пробная площадь представляет собой квадрат размером 5х5 м, внутри каждой пробной площади было заложено 5 учётных площадей, в пределах которых:

- определяли видовой состав растений, мхов и лишайников;
- измеряли проективное покрытие мхов, растений и лишайников и отдельно каждого вида.

Проективное покрытие измеряли с помощью палетки размером 25х25 см, которая разделена на 100 квадратов размером 2.5х2.5 см. Один квадрат занимаемой площади принимался за один процент. В таблицах 1 и 2 представлены данные по проективному покрытию за 2022 и за 2023 год.

Исходя из таблиц, можно сделать следующие выводы:

На фоновых пробных площадях увеличилось проективное покрытие лесной подстилки. ПП 1 уменьшилось проективное покрытие мхов и сосудистых растений, а проективное покрытие лишайников не изменилось. На ПП 2, напротив, наблюдается значительное снижение проективного покрытия лишайников.

Что касается слабо нарушенных пробных площадей, то на ПП 4 уменьшилось проективное покрытие лишайников, увеличилось проективное покрытие тропинок. На ПП 3 проективное покрытие

лишайников почти не изменилось, значительно снизилось проективное покрытие мхов, но увеличилось проективное покрытие растений.

Таблица 1

Структура напочвенного покрова пробных площадей в 2022 году (%)

Параметр	Фоновые ПП		Слабо нар. ПП		Средне нар. ПП		Сильно нар. ПП		Голые ПП	
Лесная подстилка	15.2	9	20.2	30.8	30.2	16.8	33	49	–	–
Растения	11	8.2	–	0.4	5.4	+	6.8	16.6	10.6	16
Мхи	16.4	15	15.2	5.2	2	0.8	18.2	13.6	+	+
Лишайники	57.4	67.8	60	58.6	43.2	63.4	35.2	20.8	–	–
Тропинки	–	–	–	–	11.6	9	–	–	–	–
Голые участки	–	–	4.6	5	7.6	10	7.4	–	89.4	84

Таблица 2

Структура напочвенного покрова пробных площадей в 2023 году (%)

Параметр	Фоновые ПП		Слабо нар. ПП		Средне нар. ПП		Сильно нар. ПП		Голые ПП	
Лесная подстилка	33.4	32.4	30.2	39.8	27	14.4	–	34	–	–
Растения	3	5.4	10.8	3.2	–	4	23.4	15.6	29	21.6
Мхи	7.4	13	–	6.2	2.8	–	5.8	12.2	4.4	–
Лишайники	56.2	49.2	55.6	33.2	30.2	34.8	13.6	15.2	–	–
Тропинки	–	–	–	17.6	40	46.8	–	–	–	–

На пробных площадях, отнесённых к категории средне нарушенных, отмечается уменьшение проективного покрытия лишайников. На обеих пробных площадях увеличилось проективное покрытие тропинок. При этом изменения наиболее заметны на ПП 6, которая расположена рядом с автомобильной стоянкой.

На сильно нарушенных пробных площадях отмечается снижение проективного покрытия лишайников. На ПП 7 значительно снизилась проективное покрытие лишайников, но значительно увеличилось проективное покрытие растений. На ПП 8 проективное покрытие растений, мхов и лишайников уменьшилось незначительно.

Другим важным показателем является проективное покрытие доминирующих кустистых лишайников рода *Cladonia*. На сильно нарушенных участках кустистые лишайники рода *Cladonia* практически не встречаются, а доминантная роль принадлежит растениям. В таблицах 2 и 3 представлены данные по проективному покрытию кустистых лишайников рода *Cladonia* (*Cladonia stellaris*, *Cladonia rangiferina*, *Cladonia arbuscula*) за 2022 и 2023 год.

Таблица 3

Проективное покрытие кустистых лишайников рода *Cladonia* в 2022 году

Вид лишайника	Фоновые ПП		Слабо нар. ПП		Средне нар. ПП		Сильно нар. ПП	
	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 4	ПП 5	ПП 6	ПП 7	ПП 8
<i>Cladonia stellaris</i>	28.2	40.2	6.6	17.2	0.5	4.6	–	–
<i>Cladonia rangiferina</i>	13.6	13.2	9.4	12.4	11	11.6	0.6	0.2
<i>Cladonia arbuscula</i>	10	8.4	27.2	16.4	16.2	16.6	12.6	16

Таблица 4

Проективное покрытие кустистых лишайников рода *Cladonia* в 2023 году

Вид лишайника	Фоновые ПП		Слабо нар. ПП		Средне нар. ПП		Сильно нар. ПП	
	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 4	ПП 5	ПП 6	ПП 7	ПП 8
<i>Cladonia stellaris</i>	24	25.6	18.8	17.4	3.2	5.4	–	–
<i>Cladonia rangiferina</i>	12	15.6	8.8	8	10.4	8.2	–	1.8
<i>Cladonia arbuscula</i>	19.4	4	28	7.6	12.2	10.8	5.8	3.6

По данным таблиц 2 и 3 можно сделать следующие выводы:

1. Проективное покрытие *Cladonia stellaris* уменьшилось на обеих пробных площадях.

2. На ПП 3 наблюдается увеличение проективного покрытия *Cladonia stellaris*. На ПП 4 уменьшилось проективное покрытие *Cladonia rangiferina* и *Cladonia arbuscula*. ПП 4 расположена в районе нефтепровода, также на данной территории проложен кабель, соответственно, антропогенное влияние выражено на ней сильнее.

3. На ПП 5 незначительно увеличилось проективное покрытие *Cladonia stellaris*, однако снизилось проективное

покрытие *Cladonia arbuscula*. На ПП 6 уменьшилось проективное покрытие *Cladonia rangiferina* и *Cladonia arbuscula*.

4. На обеих пробных площадях наблюдается снижение проективного покрытия *Cladonia arbuscula*.

В качестве рекомендаций для уменьшения антропогенной нагрузки на территории заказника «Параськины озёра» было предложено использование искусственных насаждения в районе пробных площадей, где отмечается ухудшение показателей. Также рекомендовано обустроить новые экотропы для того, чтобы снизить антропогенную нагрузку.

ЛИТЕРАТУРА

Петров, В. В. Лес и его жизнь / В. В. Петров. – Москва: Просвещение, 1986. – 19 с.

СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА СРЕДНЕТАЁЖНЫХ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ВЫРУБКИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Д. А. Севергина, В. В. Старцев, А. А. Дымов

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: severgina.darja@gmail.com

Лесозаготовительная деятельность человека существенно изменяет естественные лесные почвы (Ершов, 2015). В них существенно нарушаются потоки почвенного органического вещества (ПОВ). Лесные почвы бореального пояса содержат практически 30% общепланетарных запасов углерода (Scharlemann et al., 2014), изменение которых существенно влияет на сукцессионные процессы при дальнейшем лесовосстановлении. Территория вырубок неоднородна по степени воздействия: основные нарушения почвенного покрова приходятся на трелёвочных волоках, которые могут достигать до 20% от площади лесосеки (Дымов, 2020). Цель данной работы состояла в оценке влияния сплошной рубки на почвенное органическое вещество при разной интенсивности воздействия колесной лесозаготовительной техники.

Объекты исследования располагались в подзоне средней тайги Республики Коми, в хвойно-лиственном насаждении, развивающемся на подзолистых почвах. В период полевого сезона 2020 года была исследована почва под исходным лесом, который в дальнейшем был вырублен. Характеристика особенностей геолого-морфологического строения и физико-химических свойства почв представлены ранее (Дымов, 2022). После вырубки было заложено четыре почвенных разреза: на пасечном участке (П), на участке волока с тремя проходами форвардера (ЗП), участке волока с десятью проходами (10П) и участке волока с десятью проходами и с последующим выравниванием (10Р). Отбор проб из верхнего минерального горизонта (ЕL) и турбированного горизонта (TUR) проводился в летний период с 2020 по 2023 года. Для выделения различных фракций почвенного органического вещества (ПОВ) применяли денсиметрическое фракционирование (Моргун, 2011). Метод позволяет физически разделить почвенный образец на фракции: фракция свободного органического вещества (ОВ) ($COB_{<1.6}$ г/см³), фракция окклюдированного-внутриагрегатного ОВ ($OOB_{<1.6}$ г/см³) и тяжелую фракцию, связанную с минеральной матрицей ($TF_{>1.6}$ г/см³). Содержание углерода во фракциях определяли на элементном анализаторе EA-1100 (Carlo Erba) в аккредитованной экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УРО РАН.

В первый год на всех волоках наблюдается частичное или полное уничтожение верхних горизонтов, общее переуплотнение и значительное поступление на поверхность порубочных остатков и хвои. Относительно волоков пасечный участок претерпевает наименьшие морфологические изменения – переуплотнение горизонтов и частичное видоизменение органогенных горизонтов. На волоке ЗП сильно видоизменяется лесная подстилка, но генетические горизонты залегают в той же последовательности, как и на исходном участке. Почвы пасечного участка и волока с тремя проходами определены нами как подзолистые. В почвенных профилях волоков 10П и 10Р формируется турбированный генетический горизонт (TUR) – турбозёмы.

Для всех исследованных почв характерно преобладание тяжелой фракции органического вещества. Её доля изменяется от 87 до 98%. Доли легких денсиметрических фракций ($COB_{<1.6}$ г/см³ и $OOB_{<1.6}$ г/см³) значительно ниже. В первые два года после рубки наблюдается постепенное увеличение долей с 0.1 до 3.7%. На третий год на всех участках, за исключением 10П, их вклад уменьшается в два раза.

Наибольшие концентрации общего углерода выявлены в лёгких денсиметрических фракциях, в то время как тяжёлая фракция почв содержит небольшое его количество. Содержание углерода во фракции $TF_{>1.6}$ на участке с десятью проходами варьирует от 0.07 до 2.4%, что, скорее всего, обусловлено попаданием большого количества растительных и порубочных остатков в турбированный горизонт в результате перемешивания минерального горизонта с подстилкой и их постепенным разложением. На пасечном участке и волоке с тремя проходами количество углерода в тяжёлой фракции находится в пределах от 0.08 до 0.36%. В легких денсиметрических фракциях содержание углерода варьирует в широких пределах (от 4.3 до 52.1%). Во фракции свободного органического вещества количество углерода за три года либо уменьшается (пасека, ЗП, 10Р), либо остаётся практически таким же (10П), как в исходной почве от 34.5 до 36.1%. Во фракции окклюдированного органического вещества на волоках с тремя и десятью проходами имеет тенденцию к возрастанию с первого года после рубки. На участках пасеки и 10Р отмечается синусоидальная волна с наибольшим пиком, приходящим на второй год рубки.

Важным показателем является вклад углерода фракции в общий углерод почвы. Наибольший вклад в общее содержание углерода вносят легкие фракции $COB_{<1.6}$ и $OOB_{<1.6}$: на исходном участке суммарно 60% углерода сосредоточено в лёгких фракциях, на пасеке и волоке с тремя проходами 40–50%; на волоках с десятью проходами – от 40 до 80% (рис.).

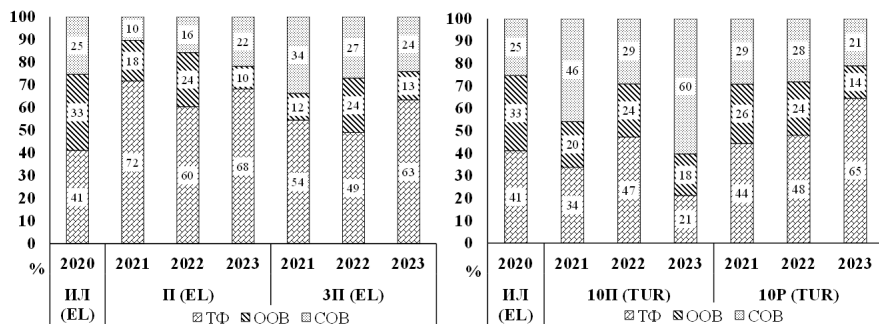


Рис. Вклад углерода денсиметрических фракций в общее содержание углерода в образце почвы: $COB_{<1,6}$ – свободное органическое вещество, $OOB_{<1,6}$ – окклюдированное органическое вещество, $TF_{>1,6}$ – тяжёлая фракция; ИЛ – исходный лес, П – пашенный участок, 3П – волок с тремя проходами форвардера, 10П – волок с десятью проходами форвардера, 10Р – волок с десятью проходами форвардера и последующим выравниванием.

В результате, во всех исследованных механически нарушенных почвах возрастание общего содержания углерода происходит за счёт углерода соединений, находящихся в свободной и окклюдированной форме.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 23-74-10007 <https://rscf.ru/project/23-74-10007/>.

ЛИТЕРАТУРА

Дымов, А. А. Почвенные сукцессии в бореальных лесах Республики Коми / А. А. Дымов. – М: ГЕОС, 2020. – 336 с. <https://doi.org/10.34756/GEOS.2020.10.37828>.

Дымов, А. А. Изменения почв и растительности при разном числе проездов колесной лесозаготовительной техники (средняя тайга, Республика Коми) / А. А. Дымов, В. В. Старцев, Н. М. Горбач, Д. А. Севергина, И. Н. Кутявин, А. Ф. Осипов, Ю. А. Дубровский // Почвоведение. – 2022. – № 11. – С. 1426–1441. <http://doi.org/10.31857/S0032180X22110028>.

Ершов, Ю. И. Теоретические проблемы лесного почвообразования / Е. Ю. Ершов. – Новосибирск: Наука, 2015. – 319 с.

Моргун, Е. Г. Использование поливольфрамата натрия при гранулоденсиметрическом фракционировании почвенного материала / Е. Г. Моргун, М. И. Макаров // Почвоведение. – 2011. – № 4. – С. 433–438.

Scharlemann, J. P. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool / J. P. Scharlemann, E. V. Tanner, R. Hiederer, V. Kapos // Carbon Managment. – 2014. – Vol. 5. – P. 81–91. <https://doi.org/10.4155/cmt.13.77>.

ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ДЫХАНИЯ ПОЧВ ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

Д. Е. Семин, В. Б. Придача

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук

E-mail: semind@krc.karelia.ru

Важнейшими показателями углеродного баланса наземных экосистем являются интенсивность депонирования углерода и, напротив, эмиссии CO_2 с поверхности почв (Luo, Zhou, 2010). Основными факторами, определяющими стабильность углеродного баланса почв, считаются климатические показатели и характер землепользования. В Республике Карелия карьеры по добыче песка и гравия являются одной из часто встречаемых форм техногенного ландшафта (Государственный доклад..., 2022). Для предотвращения деградации почвы и водных ресурсов и ускоренного восстановления растительности после открытой добычи минеральных ископаемых на нарушенных землях проводят рекультивацию. В этой связи целью исследования была оценка пространственно-временной изменчивости почвенной эмиссии CO_2 в ходе посттехногенной сукцессии при проведении лесной рекультивации песчано-гравийного карьера в среднетаежной подзоне Карелии.

Работа выполнена в европейской части средней тайги (Республика Карелия, 62.101917° N, 33.969944° E) на территории отработанного песчано-гравийного карьера в июле 2023 г. Лесную рекультивацию посттехногенной территории посредством посадки однолетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в песчано-гравийный минеральный грунт провели в 1991 г. на участке площадью 2 га (Костина и др., 2022). Через 30 лет после рекультивационных мероприятий нами проведена оценка почвенного дыхания на посттехногенном модельном участке (ПП 1), почвенный покров которого представлен псаммоземом серогумусовым (Skeletal Leptosol), где восстановление напочвенного покрова реализуется по типу сосняка лишайникового. Контролем послужили естественные почвы (подбур оподзоленный, Entic Podzol) ненарушенного 110-летнего сосняка брусничного (ПП 2), существовавшего на данной территории до начала разработки карьера (Pridacha et al., 2024).

Измерения дыхания почвы выполняли методом закрытых (непрозрачных) камер с помощью портативного инфракрасного

газоанализатора LI-8100A (LI-Cor Inc., США), оснащенного датчиками температуры почвы (Omega, США) и объемной влажности почвы ECH₂O EC-5 (Decagon Devices, Inc., США), в суточной динамике с 11:00 до 21:00 с интервалом в 2 часа. Для проведения измерений на экспериментальных участках за несколько дней до начала наблюдений устанавливали по 10 оснований из поливинилхлорида диаметром 20 см и высотой 12 см на глубину 6 см. Измерения потоков CO₂ с поверхности почвы на всех ПП проводили в двух вариантах: 1) на основаниях с напочвенной растительностью; 2) на основаниях без напочвенной растительности. В посттехногенном сосняке лишайниковом в живом напочвенном покрове доминируют лишайники *Stereocaulon tomentosum* и *Cladonia* sp., в естественном сосняке брусничном – *Vaccinium vitis-idaea* L., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt (Костина и др., 2022).

Анализ полученных данных выявил наиболее высокие значения потока CO₂ с поверхности почвы в сосняке лишайниковом в период с 13:00 до 18:00 относительно утренних и вечерних значений. Диапазон значений почвенного дыхания за весь период наблюдений для оснований с напочвенной растительностью и без нее составил 21.6–55.7 и 18.6–40.2 мг С/м² ч соответственно. При этом для сосняка лишайникового установлено сходство средних значений почвенной эмиссии CO₂ в двух вариантах измерений – 30.7 мг С/м² ч.

Для сосняка брусничного отмечена более сложная суточная динамика почвенного дыхания с выраженной полуденной депрессией процесса и наибольшими значениями в вечерние часы относительно утреннего периода. Отмеченный характер динамики выражен для обоих вариантов наблюдений. Вместе с тем, в условиях сосняка брусничного нами выявлены значимые различия ($p > 0.05$) величин почвенной эмиссии для вариантов с напочвенной растительностью и без нее. Диапазон значений почвенного дыхания за весь период наблюдений для оснований с напочвенной растительностью и без растительности составил 136.9–245.8 и 103.7–152.9 мг С/м² ч соответственно, а их средние величины – 189.2 и 130.5 мг С/м² ч соответственно.

Разный характер суточной динамики почвенного дыхания в условиях сосняков лишайникового и брусничного, очевидно, обусловлен разными биогеоценотическими условиями, в частности разной полнотой и сомкнутостью древостоя, а также составом напочвенного покрова (Костина и др., 2022), которые определяют разную степень прогрева почвы и ее объемную влажность. Так, температура почвы сосняка лишайникового значительно превышала таковую в сосняке брусничном (13 °С) и составила 21 °С, тогда как значения влажности почвы, напротив, были бо-

лее высокие в брусничном типе леса (11.5 об.%) относительно лишайникового (4.6 об.%). Также отмеченные различия можно объяснить разной освещенностью напочвенного покрова двух экспериментальных участков, которая обуславливает и разную активность процессов поглощения и выделения CO_2 растениями напочвенного покрова. Представляется вероятным и разный вклад автотрофной и гетеротрофной компоненты в общую эмиссию CO_2 с поверхности почв разных сосняков в суточной динамике. Таким образом, для выявления более точных оценок почвенного дыхания с учетом его пространственной и временной изменчивости необходимы дополнительные исследования по круглосуточной схеме в разных биогеоценозах.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (ИЛ КарНЦ РАН).

ЛИТЕРАТУРА

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2021 г. – Петрозаводск, 2022. – 263 с.

Костина, Е. Э. Формирование растительного покрова при лесной рекультивации песчано-гравийного карьера в Республике Карелия / Е. Э. Костина, Г. В. Ахметова, А. Н. Пеккоев, В. А. Харитонов, А. М. Крышень // Растительные ресурсы. – 2022. – № 3. – С. 290–310. <https://doi.org/10.31857/S0033994622030074>.

Luo, Y. Soil respiration and the environment / Y. Luo, X. Zhou. – Elsevier, 2010. – 333 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-088782-8.X5000-1>.

Pridacha, V. B. Effect of forest reclamation on carbon stocks and respiration of soils of natural and technogenic ecosystems of southern Karelia / V. B. Pridacha, G. V. Akhmetova, D. E. Semin // Eurasian Soil Sci. – 2024. – Vol. 57(2). – P. 301–312. <https://doi.org/10.1134/S106422932360286X>.

АВТОМОРФНЫЕ ПОЧВЫ ЛЕСНОГО ЗАКАЗНИКА «ЛЯЛЬСКИЙ»

Е. А. Скребенков^{*,**}, С. В. Денева^{**}, Ю. В. Холопов ^{**},
А. А. Рудь^{**}, Е. М. Лаптева^{**}

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

E-mail: evgeniigskrebenkov@mail.ru

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

E-mail: lapteva@ib.komisc.ru

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) играют важную роль не только в сохранении разнообразия растительного и животного мира (Соколов и др., 2002), уникальных ландшафтов (Штильмарк, 1996), геологических памятников природы (Геологическое наследие..., 2008), но и природного разнообразия почв. В Республике Коми в настоящее время функционирует 243 ООПТ федерального (4), регионального (237) и местного (2) значения (URL: <https://oopt.rkomi.ru/oopt>). Среди них следует отметить Государственный природный заказник республиканского значения «Ляльский», в границах которого создан тестовый полигон для мониторинга динамики соединений углерода и оценки пулов углерода в лесных сообществах средней тайги (Загирова, 2023).

Известно, что на территории заказника «Ляльский» в еловых сообществах представлены подзолистые почвы, в сосновых – почвы, формирующиеся на двучленных почвообразующих породах: подзолы иллювиально-железистые и торфянисто-подзолисто-глеватые иллювиально-гумусовые почвы (Биопродукционный..., 2001; Бобкова и др., 2014). Цель данной работы заключалась в характеристике морфологического строения и свойств почв, сформированных на двучленных отложениях, занимающих хорошо дренированные позиции, и диагностике их классификационного положения.

Исследования проводили в границах тестового полигона «Ляльский». Площадь полигона 4 км², где представлены различные типы растительных сообществ, характерные для подзоны средней – еловые, сосновые и мелколиственные леса. Для изучения почвенного покрова исследуемой территории заложены 30 пробных площадей, приуроченных к различным типам растительных сообществ. В пределах которых заложены полнопрофильные почвенные разрезы, проведено морфологическое описание почв, исследованы их некоторые физико-химические свойства. Плотность почв определяли в ненарушенном сложении, содержание углерода общего (Собщ.) и азота общего (Nобщ.) – на CNHS-

анализаторе, карбонатов кальция – объемно-метрическим методом с использованием кальциметра, гранулометрический состав почв – модифицированным методом Качинского (Vanchikova et al., 2024). Содержание органического углерода (Сорг.) рассчитывали по разнице между величиной Собщ. и содержанием углерода карбонатов. Цвет генетических горизонтов определяли при помощи цветowych шкал Манселла.

В рамках данной работы представлена характеристика почв двух пробных площадей (ПП). Обе пробные площади (ПП 115 и ПП 145) заложены в еловых сообществах, на склоне СЗ экспозиции (табл.). Склон, где выделена площадка ПП 115, более крутой, чем ПП 145, что обуславливает лучшие условия дренированности почвы на участке ПП 115.

Таблица

Краткая характеристика пробных площадей

Параметр	Номер пробной площади	
	ПП 115	ПП 145
Координаты	62°15'45.6" с.ш., 50°40'46.2" в.д.	62°15'38.3" с.ш., 50°40'37.0" в.д.
Местоположение в рельефе	Склон водораздела	Склон водораздела
Экспозиция склона	СЗ	СЗ
Крутизна склона	3–5°	2–3°
Растительное сообщество	Ельник травяно-зелено-мошный	Ельник чернично-сфагновый
Состав древостоя	8Е2П+Б	5Б4Е1П
Доминанты напочвенного покрова	Аконит, голокучник, зеленые мхи (<i>Rhytidiadelphus</i> sp., <i>Ptilium</i> sp.)	Черника, сфагновые мхи
Тип, подтип почвы	Дерново-подзол-элювозем грубогумусированный остаточно-карбонатный на двучленных отложениях	Подзол-элювозем постпирогенный глееватый контактно-элювиированный остаточно-карбонатный на двучленных отложениях
Формула почвенного профиля		

На территории исследования распространены ледниковые отложения неоднородного гранулометрического состава – верхний нанос представлен песками (содержанием частиц диаметром > 0.01 мм порядка 92–94%), нижний – тяжелыми суглинками и легкими глинами (содержание частиц физической глины варьи-

рует вниз по профилю от 41–49 до 54–55%). Мощность песчаных отложений, несмотря на близкое расположение ПП по отношению друг к другу (находятся на расстоянии около 230 м), варьирует от 58–60 (ПП 115) до 25–30 (ПП 145) см. Подстилающие суглинисто-глинистые отложения содержит включения карбонатов, содержание которых увеличивается с глубиной и различается в зависимости от ПП. На ПП 115 массовая доля карбонатов кальция менее 0.1%, на ПП 145 она возрастает с глубиной от 0.04% (57–77 см) до 8.18% (117–132 см).

В соответствии с различиями в дренированности рельефа, мощности облегченной верхней толщи, составе напочвенного покрова, строение профилей рассмотренных почв имеет определенные отличия. В профиле почвы на участке ПП 115 под маломощным подстилочно-торфяным горизонтом, нижняя часть которого представлена смесью растительных остатков разной степени разложения с минеральными частицами почвы (Oao), залегает серый (цвет по шкале Манселла 10YR 7/2), мелкокомковатый гумусированный горизонт с зонами осветления AYe, для которого характерно достаточно высокое содержание органического углерода (2.68%) и азота общего (0.17%). Горизонт AYe имеет небольшую мощность (5–6 см), его формирование обусловлено скорее всего наличием травянистой растительности в напочвенном покрове. Под гумусоаккумулятивным горизонтом с признаками оподзоливания (Aye) развит характерный для подзолов светлый белесый горизонт E (5Y 8/2), нижняя часть которого имеет признаки илювиирования соединений железа в виде слабовыраженных охристых пятен на белесом фоне (Ef). Подзолистый горизонт сменяет толща песка без признаков педогенной трансформации (горизонт C) и подстилающий слой суглинисто-глинистого седимента (Dca), содержащий незначительное количество включений карбонатов (массовая доля CaCO₃ варьирует от 0.004 до 0.91%). Таким образом, формирование минеральной части профиля почвы на участке ПП 115 определяется сочетанием дернового, подзолистого и слабо выраженного альфегумусового процессов. Морфологическое строение ее профиля может быть представлено формулой:

$$Oao \frac{5+0}{5} AYe \frac{0-5(6)}{5.5} E \frac{5(6)-13(20)}{11} Ef \frac{13(20)-30(38)}{17.5} C \frac{30(38)-58(60)}{25} Dca \frac{58(60)-113}{54}.$$

Согласно морфологическому строению профиля почвы, описанной на территории ПП 115, она соответствует отделу элювиальных почв, типу дерново-подзол-элювоземов, подтипу грубогумусированных остаточно-карбонатных на двучленных отложениях.

На участке ПП 145 профиль почвы имеет несколько иное строение. Она отличается более мощным подстилочно-торфяным

горизонтом (7–8 см), присутствием в верхней части подзолистого горизонта признаков иллювиирования гумусовых веществ и углистых частиц (Ehi, pur), а также признаков оглеения в виде сероватых и охристых тонов, Fe-Mn примазок и конкреций (Eg). Подстилающая суглинисто-глинистая толща на контакте с песчаным наносом (глубина 27–47 см) несет выраженные следы педогенной переработки в форме осветления поверхности педов за счет развития процессов разрушения минералов и элювиирования продуктов их трансформации (Del). Ниже глинистый слой плотный, без зон осветления (D), постепенно переходящий в толщу с включениями карбонатов разной размерности (Dca). Содержание Сорг. в подзолистом потечно-гумусовом горизонте (Ehi, pur) составляет 2.20%, Нобщ. – 0.14%. В нижележащей толще массовая доля Сорг. варьирует в пределах 0.14–0.33%, аналогично почве участка ПП 115, где содержание Сорг. в песчано-глинистой толще под горизонтом АУе составляет 0.09–0.30%. Ведущими процессами в формировании минеральной части профиля почвы на участке ПП 145 являются: подзолистый, иллювиирование гумусовых веществ, контактное элювиирование суглинистой толщи, оглеение верхней песчаной толщи профиля за счет близкого залегания водоупора (суглинистые отложения) и периодического застаивания влаги в верхней песчаной части профиля. Морфологическое строение данной почвы может быть представлено формулой:

$$0 \frac{7(8)+0}{7.5} \text{Ehi, pir} \frac{0-4(7)}{5.5} \text{Eg} \frac{4(7)-27}{21.5} \text{Del} \frac{27-47}{20} \text{D} \frac{47-57}{10} \text{Dca} \frac{57-132}{85}.$$

Согласно морфологическому строению профиля почвы, описанной на территории ПП 145, она соответствует отделу элювиальных почв, типу подзол-элювоземов, подтипу постпирогенных глееватых контактно-элювиированных остаточно-карбонатных на двучленных отложениях.

Кислотно-основные свойства рассмотренных почв отвечают специфике зональных условий их формирования и особенностям содержания и распределения включений карбонатов (рис. 1). Наиболее кислые – нижние подгоризонты подстилок и верхние подподстилочные минеральные горизонты (4.4–4.8 ед. рН), что характерно для почв подзолистого типа (Атлас почв..., 2010). Верхние подгоризонты подстилок имеют слабокислую реакцию среды (4.8–5.8 ед. рН). В минеральной части профиля с глубиной наблюдается последовательное снижение кислотности до нейтральной (ПП 115) и слабощелочной (ПП 145) реакции, что коррелирует с количеством присутствующих в суглинисто-глинистых отложениях включений карбонатов кальция.

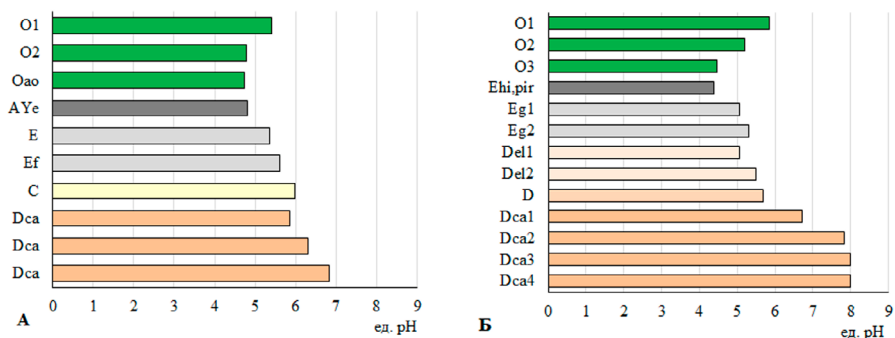


Рис. 1. Профильное изменение величины актуальной кислотности (pH водной вытяжки) в дерново-подзол-элювоземе (А) и подзол-элювоземе (Б).

Расчет запасов углерода и азота в почвах рассмотренных пробных площадей (рис. 2), показал следующее. В целом, запасы углерода в почвах с учетом органогенного горизонта и 100-сантиметровой толщи минеральной части профиля составляют 63.8 (ПП 115) и 72.1 (ПП 145) т/га. Это практически в 1.3–1.5 раза больше по сравнению с запасами углерода в подзолах иллювиально-железистых (49.7 т/га), развитых на древнеаллювиальных песках, и в такое же количество раз меньше, чем в типичных подзолистых почвах (96.6 т/га), сформированных на однородных суглинистых почвообразующих породах, данные по которым обобщены в работе (Osipov et al., 2021). В более дренированных условиях (ПП 115) запасы как Сорг., так и N общ. меньше, по сравнению с почвой ПП 145, которая формируется на более выположенном склоне и отличается более выраженным застоем влаги в верхней части профиля, что обеспечивает не только развитие глеевых процессов, но и формирование более мощного подстилочно-торфяного горизонта, благодаря развитию сфагновых мхов, и активное иллювиирование гумусовых веществ в минеральную часть профиля из оторфованной подстилки. В связи с этим в верхнем полуметре (включая органогенный горизонт) профиля подзол-элювозема (ПП 145), запасы Сорг. и Нобщ. соответственно в 1.3 и 1.7 раза выше по сравнению с дерново-подзол-элювоземом (ПП 115). Это может быть обусловлено более активной минерализацией органических веществ и более активной потерей азотистых веществ в условиях хорошей дренированности территории ПП 115 и включения в процессы разложения остатков травянистых растений.

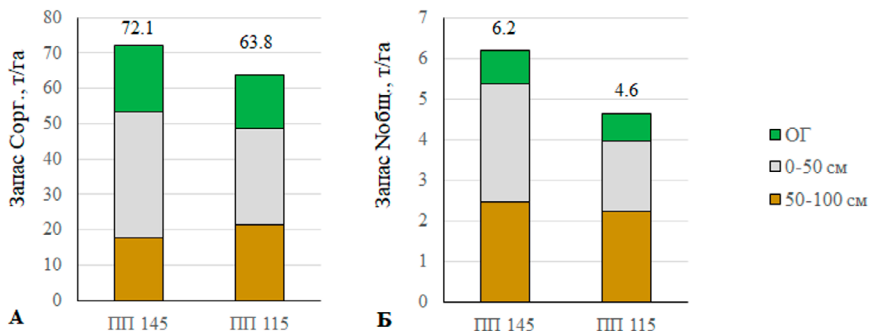


Рис. 2. Запасы органического углерода (А) и общего азота (Б) в различных слоях подзол-элювозема (ПП 145) и дерново-подзол-элювозема (ПП 115): ОГ – органогенный горизонт; минеральные слои почвы по глубинам – 0–50 и 50–100 см.

Таким образом, в границах заказника «Ляльский», наряду с ранее описанными подзолами иллювиально-железистыми ((Биопродукционный..., 2001; Бобкова и др., 2014), автоморфные позиции рельефа занимают почвы, развитые на двучленных почвообразующих породах и относящиеся к отделу элювиальных почв – дерново-подзол-элювоземы и подзол-элювоземы. Специфической особенностью таких почв является слабая выраженность альфегумусового процесса, не позволяющая сформировать характерный для подзолов иллювиально-железистых профиль. Близкое залегание суглинистого наноса, способствующее временному переувлажнению почв, определяет активное развитие мхов в напочвенном покрове и накоплению органического вещества в подстильно-торфяных горизонтах. В зависимости от условий дренированности и характера напочвенного покрова, в таких почвах может аккумулироваться до 63.8–72.1 т/га органического углерода и 4.6–6.8 т/га общего азота, что соответствует промежуточному положению между подзолами иллювиально-железистыми и типичными подзолистыми почвами.

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

ЛИТЕРАТУРА

Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г. В. Добровольского, А. И. Таскаева, И. В. Забоевой. – Сыктывкар, 2020. – 356 с.

Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера. – СПб.: Наука, 2001. – 278 с.

Бобкова, К. С. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах / К. С. Бобкова, А. В. Машика, А. В. Смагин. – СПб., 2014. – 270 с.

Геологическое наследие Республики Коми (Россия) / Сост. П. П. Юхтанов. – Сыктывкар, 2008. – 350 с.

Загирова, С. В. Реализация важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» в Республике Коми / С. В. Загирова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : Материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 15 ноября 2023 года. – Киров: Вятский государственный университет, 2023. – С. 14–17.

Соколов, В. А. Организация особо охраняемых природных территорий / В. А. Соколов, С. К. Фарбер, Н. В. Соколова и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 264 с.

Штильмарк, Ф. Р. Историография российских заповедников (1895–1995) / Ф. Р. Штильмарк. – М.: Логата, 1996. – 340 с.

Osipov, A. F. Carbon stocks of soils under forest in the Komi republic of Russia / A. F. Osipov, K. S. Bobkova, A. A. Dymov // Geoderma Regional. – 2021. – Т. 27. – Р. e00427. – DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00427.

Vanchikova, E. V. Meteorological Aspects of Studying the Particle Size Distribution of Soils according to the Kachinskii Method / E. V. Vanchikova, E. M. Lapteva, N. A. Vasilyeva, B. M. Kondratenok, E. V. Shamrikova // Eurasian Soil Science. – 2024. – Vol. 57. – P. 1176–1193.

ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА

Н. А. Усов, Т. М. Панова, Л. А. Старыгин, Б. Н. Дрикер

Уральский государственный лесотехнический университет

E-mail: usov.nikita3@gmail.com

По состоянию на начало 2022 года площадь земель сельскохозяйственного назначения в Свердловской области составляет около 4000 тыс. га, из которых более 65% относятся к кислым, а 29% – к сильнокислым почвам. Для обеспечения стабильной урожайности выращиваемых культур данные земли требуют постоянных мероприятий по сохранению и улучшению плодородия. В то же время, ежегодно в области образуется 2.5–2.8 млн. т отходов животноводства, включая навоз крупного рогатого скота, свиной навоз, куриный помет и др. Наиболее ценным по содержанию полезных компонентов является куриный помет, на долю которого приходится около 400–500 тыс. т в год. Проблемы хранения и утилизации куриного помета хорошо известны, экологический аспект проблемы – это загрязнение почвы, поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха. Кроме того, отходы куриного помета являются источниками неприятного запаха, бактериального загрязнения и пр.

Целью данной работы является разработка технологии получения органического и органоминерального удобрения и оценка эффективности их применения в сельском хозяйстве. В качестве основы для получения удобрения использовали свежий куриный помет Рефтинской птицефабрики, в который вносили целлюлозосодержащий наполнитель в виде опила или стружки лиственных пород древесины, золу Рефтинской ГРЭС как источник макро- и микроэлементов. В качестве стимулятора ферментации используют предварительно ферментированный птичий помет той же птицефабрики. Разнообразный минеральный состав смеси (Ca, K, Mg, F, B, Mn, Zn, Se, Mo) способствует активации ферментов в процессе компостирования и оптимизации минерального питания растений при использовании полученного органоминерального удобрения. Концентрация тяжелых металлов низкая.

Соотношение компонентов при проведении ферментации, %: целлюлозосодержащий наполнитель (5–10), зола от сжигания каменного угля (5–10), предварительно ферментированный помет (5–20), птичий помет (с относительной влажностью 65–75%) – остальное. Целлюлозосодержащий наполнитель выполняет функцию влагопоглощающего инертного наполнителя и структурирует смесь для проведения ферментации птичьего помета. Предпоч-

тительно использовать опил или стружку лиственных пород, в которых отсутствуют смолистые вещества, замедляющие процесс ферментации.

В основе технологии использовали процесс твердофазной ферментации в контролируемых условиях (температура, pH, влажность, расход воздуха). Интенсивность процесса ферментации оценивали по скорости образования аммиака, образующегося в результате разложения мочево́й кислоты и при дезаминировании аминокислот белка.

Наилучшие результаты достигнуты при дозировке опила лиственных пород в количестве 10%, что обеспечивает необходимую потребность микроорганизмов в источнике углерода и создает хорошую порозность смеси. Внесение золы в количестве до 10% приводит к заметному сокращению продолжительности ферментации. В результате активного биотермического процесса интенсивного компостирования за счет высокой микробной активности происходит разложение органических веществ, например, углеводов, достигается температурный максимум на уровне 65 °С, что обеспечивает экологическую безопасность продукта за счет гибели патогенной и условно-патогенной микрофлоры, яиц гельминтов и потери всхожести семян сорняков. Полученный в процессе интенсивного компостирования продукт имеет сыпучую консистенцию, характеризуется благоприятными органолептическими свойствами.

Оценка фитотоксичных и стимулирующих свойств полученных органоминеральных удобрений проводили согласно ГОСТ Р ИСО 18763-2019. В качестве тест растения использовано двудольное растение *Lipidium sativum*. При исследовании фиксировали размер корневой и наземной части растений. Водные вытяжки образцов органоминерального удобрений разбавляли в 9 и 81 раз. Результаты испытания полученных образцов органоминеральных удобрений представлены в табл. 1.

Использование золы положительно сказывается не только на продолжительности процесса ферментации, но и проявляется в положительном влиянии на корневую и наземную часть при выращивании кресс-салата. По сравнению с контролем прирост корневой части при 9-кратном разведении составляет от 1.5 до 2.5 раз, наземной при том же разведении 3–6 раз (пример 9). По сравнению с удобрением, не содержащим компонентов золы (пример 2), прирост корневой и наземной части растений составил 1.5–2.5 раза. По нашему мнению, это обусловлено наличием в составе золы макро- и микроэлементов, положительно влияющих на параметры роста. Увеличение количества золы в конечном продукте до 15% отрицательно сказывается на его потребительских свойствах (примеры 8, 9). Это обусловлено уменьшением

количества полезного компонента ферментированного продукта, которое не компенсируется увеличением дополнительных количеством микроэлементов, поступающих с золой.

Таблица 1

**Эффект развития корневой и наземной систем кресс-салат
в водных вытяжках органоминерального удобрения**

№ п/п	Образец	Кратность разбавления	рН водной вытяжки	Эффект торможения	
				Корневая часть	Наземная часть
1	Контроль	в 9 раз	8.6	-47.3	-8.1
		в 81 раз	8.2	-12.4	-2.4
2	Помет 1000 г Стружка (листв. пород) 100 г (10%) ФП 200 г (20%)	в 9 раз	8.8	-104.2	-24
		в 81 раз	8.6	-56.5	-12.1
3	Помет 1000 г Опил (листв. пород) 100 г (10%) ФП 200 г (20%) Зола 10 г (1%)	в 9 раз	8.8	-101.3	-21.8
		в 81 раз	8.6	-49.7	-9.9
4	Помет 1000 г Стружка (листв. пород) 100 г (10%) ФП 100 г (10%) Зола 50г (5%)	в 9 раз	8.9	-168.4	-24.5
		в 81 раз	8.6	-56.8	-12.7
5	Помет 1000 г Опил (листв. пород) 50 г (5%) ФП 100 г (10%) Зола 100 г (10%)	в 9 раз	9.0	-147.5	-24.1
		в 81 раз	8.8	-56.8	-42.3
6	Помет 1000 г Опил (листв. пород) 100 г (10%) ФП 50 г (5%) Зола 100 г (10%)	в 9 раз	9.0	-145.2	-24.0
		в 81 раз	8.8	-56.6	-12.2
7	Помет 1000 г Опил (листв. пород) 100 г (10%) ФП 100 г (10%) Зола 100г (10%)	в 9 раз	9.0	-186.4	-28.5
		в 81 раз	8.8	-50.1	-14.9

Продолжение таблицы 1

8	Помет 1000 г Стружка (листв. пород) 100 г (10%) ФП 200 г (20%) Зола 100 г (10%)	в 9 раз	9.3	-254.7	-46.1
		в 81 раз	9.1	-60	-32.4
9	Помет 1000 г Опил (листв. пород) 100г (10%) ФП 200 г (20%) Зола 150 г (15%)	в 9 раз	9.3	-245	-42.4
		в 81 раз	9.1	-57.2	-28.1

Полученный в процессе данного исследования продукт, был проанализирован в испытательной лаборатории ГБУ Свердловской области «Свердловская областная ветеринарная лаборатория», результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты лабораторных исследований органического удобрения (компост)

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Компост из куриного помета	Свежий помет Рефтинской птице-фабрики	Нормативные значения по ГОСТ 33830–2016	Примечание
Агротехнические показатели						
1	Массовая доля общего азота (N) в продукте на сухое вещество	%	4.29	4.02	Не менее 0.7	Соответствует ГОСТ
2	Массовая доля общего фосфора (P ₂ O ₅) в продукте на сухое вещество	%	1.76	1.64	Не менее 0.5	Соответствует ГОСТ
3	Массовая доля общего калия (K ₂ O) в продукте на сухое вещество	%	2.9	2.92	Не менее 0.3	Соответствует ГОСТ
4	Массовая доля органического вещества	%	88.2	90.2	Не менее 50	Соответствует ГОСТ
Микробиологические показатели						
5	Коли-индекс	см ³	10	1·10 ⁶	–	–

Продолжение таблицы 2

Санитарно-зоогигиенические показатели						
6	БГКП (колиформы)		Обнаружено	Обнаружено	–	–
7	Бактерии рода <i>Proteus</i>		Не обнаружено	Обнаружено		
8	Коли-титр	см ³	1·10 ⁻¹	1·10 ⁸	–	–
9	Бактерии рода <i>Staphylococcus</i>	–	Не обнаружено	Не обнаружено	Не допускается	Соответствует ГОСТ
10	Бактерии рода сальмонеллы	–	Не обнаружено	Не обнаружено	Не допускается	Соответствует ГОСТ
11	Патогенные клостридии		Не обнаружено	Обнаружено	–	–
12	Спорообразующие микроорганизмы	–	Обнаружено	Обнаружено	–	–
13	Энтерококки		Не обнаружено	Обнаружено	–	–
Санитарно-паразитологические показатели						
14	Цисты кишечных патогенных простейших	шт/кг	Не обнаружено	Не обнаружено	Не допускается	Соответствует ГОСТ
15	Яйца и личинки гельминтов	–	Не обнаружено	Не обнаружено	Не допускается	Соответствует ГОСТ
Паразитарная чистота						
16	Личинки и куколки синантропных мух	экз/кг	Не обнаружено	Не обнаружены	Не допускается	Соответствует ГОСТ

По результатам проведенных испытаний по всем показателям, указанным в ГОСТ 33830-2016 «Удобрения органические на основе отходов животноводства», соответствует установленным требованиям.

Выводы:

1. Организация производства органоминерального удобрения в режиме круглогодичной переработки на основе куриного помета с внесением опила листовых пород в количестве 10%, золы от сжигания каменного угля в количестве 10% и ферментированного продукта в количестве 20% по предлагаемой технологии обеспечивает высокую производительность процесса за счет

сокращения временных затрат при одновременном улучшении потребительских свойств получаемого удобрения.

2. Оценка фитотоксичных и стимулирующих свойств полученных органоминеральных удобрений показала высокую эффективность их применения, что позволяет существенно увеличить прирост как корневой, так и наземной части используемого в качестве объекта исследований кресс-салата.

3. Испытания полученного продукта, проведенного по агротехническим, микробиологическим, санитарно-зоогигиеническим, санитарно-паразитологическим показателям и паразитарной чистоте показали соответствие требованиям ГОСТ 33830-2016 «Удобрения органические на основе отходов животноводства» по всем показателям, что обеспечивает безопасность его применения в сельском хозяйстве.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ГРУППИРОВОК ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА РАННИХ СТАДИЯХ ЗАРАСТАНИЯ ОТВАЛОВ ГЛИН В ЮНТОЛОВСКОМ ЗАКАЗНИКЕ (САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)

В. О. Хайретдинова, Е. В. Кушневская

Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: leraox@gmail.com; e.kushnevskaya@spbu.ru

Процесс формирования растительности на техногенных субстратах отражает процессы становления новых наземных экосистем (Bradshaw, 1993). С практической точки зрения его изучение важно для рекультивации нарушенных территорий (Walker, del Moral, 2009). Целью данной работы является изучение механизмов формирования пространственной структуры пионерных сообществ на глинистом субстрате техногенного происхождения.

Объект исследования находится в Санкт-Петербурге на территории Юнтоловского заказника. Формирующаяся на отвалах глин растительность высоко гетерогенна и представлена небольшими по площади группировками на разных сукцессионных стадиях. Для работы было выбрано 6 несомкнутых группировок травянистой растительности, в их пределах по направлению наибольшей протяженности заложены трансекты с учетными площадками 10 x 10 см каждые 15 см, суммарно 205 площадок. На них выполнены геоботанические описания с повтором в разные сезоны: 1) октябрь – ноябрь 2022: покрытия видов мохообразных, 2) июль 2023: полные описания растительности напочвенного покрова, представленной травянистыми сосудистыми растениями и мохообразными, 3) сентябрь 2023: краткие описания мохообразных (общие покрытия без учета отдельных видов). В ходе описаний, помимо проективного покрытия растений, для каждой площадки отмечались доля площади трещин на поверхности субстрата и количество опада. Дополнительно в апреле 2023 описан процесс таяния снегового покрова на площадках, условно разделенный на 5 состояний (снег, лёд, лужа, сырой открытый субстрат, сухой открытый субстрат), что отражает характеристики нанорельефа участков и связано с локальными особенностями увлажнения на протяжении всех сезонов (далее «нанорельеф-увлажнение», все упоминания относятся к наблюдениям от 10.04.2023).

Были выдвинуты следующие гипотезы: 1) учтённые факторы не зависят друг от друга, 2) трещины положительно связаны с общим покрытием мхов, 3) опад а) задерживается и пополняет-

ся травянистой растительностью и б) угнетает развитие мхов, 4) застойное увлажнение угнетает растительность, 5) взаимное влияние параметров растительности (сосудистых и мхов) на данной стадии не выражено.

Использовались следующие статистические методы: критерий Манна-Уитни, критерий Краскела-Уоллиса, коэффициент корреляции Спирмена.

Результаты анализа показали отсутствие связи между долей площади трещин и количеством опада (коэффициент корреляции Спирмена 0.06, $p = 0.38$). Также во все сезоны наименьшая доля площади трещин отмечена на площадках, покрытых снегом в апреле (критерий Краскела-Уоллиса: $\chi^2 = 57.01$, $p = 1.217 \cdot 10^{-11}$), а наибольшее количество прошлогоднего опада летом – на площадках, представленных в апреле льдом и открытым сырым субстратом (критерий Краскела-Уоллиса: $\chi^2 = 17.52$, $p = 0.00126$), предположительно, соответствующих локальным понижениям.

Не выявлено влияния доли площади трещин на параметры растительности, в то время как стабильные трещины, отмеченные минимум в 3 из 4 наблюдений, оказались связаны с повышенным числом видов мхов осенью (Критерий Манна-Уитни: $U = 3884$, $p = 0.0157$). Показано влияние нанорельефа-увлажнения на все характеристики растительности в каждый сезон: наименьшие проективные покрытия и число видов сосудистых зафиксированы на местах льда и луж (критерий Краскела-Уоллиса: $\chi^2 = 42.11$ и 23.46 , $p = 1.247 \cdot 10^{-8}$ и $5.383 \cdot 10^{-5}$, соответственно), что также справедливо для минимальных покрытий мхов, в то время как максимальные покрытия мхов отмечены на площадках, покрытых снегом в апреле (критерий Краскела-Уоллиса: $\chi^2 = 92.91$, $p = 3.103 \cdot 10^{-19}$). Минимум видов мхов в разные сезоны приходится на площадки с лужами, льдом и снегом (критерий Краскела-Уоллиса: $\chi^2 = 15.02$, $p = 0.0034$). Кроме того, показана некоторая положительная связь количества опада с проективным покрытием сосудистых, числом видов мхов, а также слабая, но достоверно положительная связь с покрытием мхов (коэффициент корреляции Спирмена 0.33, 0.37 и 0.29 соответственно, $p = 1.53 \cdot 10^{-6}$, $5.46 \cdot 10^{-8}$ и $2.72 \cdot 10^{-5}$, соответственно), что говорит об отсутствии предполагавшихся эффектов угнетения.

Параметры растительности (как проективное покрытие, так и число видов) сосудистых и мхов демонстрируют отчетливую положительную связь во все сезоны (коэффициент корреляции Спирмена 0.55 и 0.23, $p = 1.09 \cdot 10^{-17}$ и 0.00101, соответственно). При этом различия показателей в большой степени согласуются с распределением характеристик нанорельефа-увлажнения.

Таким образом, было показано, что характеристики нанорельефа-увлажнения влияют на распределение опада и тре-

щин на поверхности субстрата, которые в свою очередь не зависят друг от друга. Наличие стабильных трещин связано с повышением видового разнообразия мхов, что может отражать, с одной стороны, возросшую пространственную гетерогенность условий, с другой стороны, возможную роль трещин в локальной стабилизации влажности. Отсутствие угнетения мхов опадом означает, что на данной стадии определяющими являются другие факторы, а имеющегося количества опада (среднее покрытие осенью 2023 составило 14.5%) предположительно недостаточно для проявления описанного в литературе подавления мхов (Арискина, 1962; Тархова, 1972). Определяющая роль характеристик нанорельефа-увлажнения для растительности объясняется водоупорными свойствами глинистого субстрата: понижения на длительное время затапливаются, в то время как повышения пересыхают, причём роль играют различия высоты от нескольких сантиметров. Параметры растительности значительно объясняются распределением характеристик нанорельефа-увлажнения, что позволяет предполагать, что согласованный рост обилий и числа видов сосудистых и мхов отражает общий уровень развития группировок в зависимости от благоприятности локальных условий. Подводя итог, следует отметить, что на данной стадии развития сообщества формирующаяся растительность в первую очередь зависит от абиотических факторов, ценотические же взаимодействия еще не выражены.

ЛИТЕРАТУРА

- Арискина, Н. П. Моховые синусии в напочвенном покрове хвойных фитоценозов Татарской республики / Н. П. Арискина // Ботан. журн. – 1962. – Т. 47. – №. 5. – С. 658–672.
- Тархова, Т. Н. Изучение влияния древесного яруса на моховый покров / Т. Н. Тархова // Применение количественных методов при изучении структуры фитоценозов. М., 1972. – С. 128–133.
- Bradshaw, A. D. Understanding the fundamentals of succession / A. D. Bradshaw // Special publication-British ecological society. – 1993. – Т. 12. – С. 1–1.
- Walker, L. R. Lessons from primary succession for restoration of severely damaged habitats / L. R. Walker, R. del Moral // Applied Vegetation Science. – 2009. – Т. 12. – №. 1. – С. 55–67.

ИЗМЕНЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ВЕРХОВОМ БОЛОТЕ ПРИ СОЛЕВОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

В. А. Харбака, О. В. Масловская, В. Н. Тюрин

Сургутский государственный университет

E-mail: intelinside658@yandex.ru

В публикации затронута актуальная тема воздействия солевого загрязнения на верховые болота Западной Сибири, преобладающие в центральной ее части. Уязвимость болотных экосистем к техногенному засолению связана с господством олиготрофных видов, слабо устойчивых к воздействию солевого загрязнения.

Исследование проводилось в 12 км северо-восточнее Сургута, в бассейне р. Почекуйка. Участок расположен в окрестностях кустовой площадки К-345 Восточно-Сургутского нефтяного месторождения. В 2015 г. на участке произошел порыв нефтесборной трубы, приведший к разливу водонефтяной смеси. На месте аварии оперативно выполнена рекультивация нефтяного загрязнения. Однако подтоварная вода распространилась на значительное расстояние, обусловив частичное повреждение растительности. С 2020 г. проводится наблюдение за экологическим состоянием участка. В сентябре 2022 г. для оценки изменения почвенно-растительного покрова были отобраны пробы торфяных почв в контуре загрязнения (точки 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), а также вне зоны воздействия (точки 11, 12, 13, 14, 15, 16). Пробы отбирались из верхнего горизонта – под моховым очесом.

В лаборатории СурГУ проведен анализ 13 проб на содержание органического вещества (ОВ) и концентрацию хлоридов (табл.). Массовая доля ОВ определена гравиметрическим методом в соответствии с ГОСТ 11306-2013, концентрация хлоридов – по методу Мора согласно ГОСТ 27894.8-88. Расчеты выполнены для проб в абсолютно сухом состоянии.

Массовая доля ОВ в фоновых точках имеет близкие значения – от 96.7 до 98% (в среднем 97.4%) (табл.). Сходные данные (97.9%) получены для участка верхового болота, расположенного в 5.5 км севернее района исследования. Концентрация хлоридов в фоновых условиях варьирует от 77 до 95 мг/кг (в среднем 88 мг/кг). При загрязнении существенно возросла концентрация хлоридов – зафиксировано в среднем ее 28-кратное превышение над фоном. Воздействие привело к ожидаемому уменьшению ОВ в почве, однако изменение оказалось несущественным – его массовая доля уменьшилась лишь на 1.4%.

Загрязнение частично повлияло на растительность. Произошло повреждение древостоя, состоящего преимущественно из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). В травяно-кустарничковом ярусе местами наблюдается гибель кустарничков (багульника (*Ledum palustre*), кассандры (*Chamaedaphne calyculata*) и др.) и активное развитие травостоя с появлением нехарактерных видов (вейника наземного (*Calamagrostis epigeios*) и др.). В поврежденном моховом (сфагновом) покрове отмечено разрастание мхов, характерных для нарушений (*Polytrichum strictum* и др.).

Таблица

Данные загрязненных и фоновых точек участка верхового болота

№ точки	Территория исследования	W, %	Cl, мг/кг	Орг., %	Орг. ср., %	Орг. ст.
T2	Участок солевого загрязнения	93.4	5 130	97.1	96.0	0.5
T3		93.6	3 550	95.3		
T4		95.2	3 426	96.2		
T5		94.5	2 584	97.2		
T6		95.0	970	93.3		
T7		96.4	1056	96.7		
T8		95.3	640	96.3		
T11		Фоновый участок	95.1	95		
T12	94.7		77	96.7		
T13	94.9		95	97.5		
T14	94.5		78	97.2		
T15	95.4		90	98.0		
T16	95.3		91	97.8		

Примечание: Сокращения: W – влажность торфа, Cl – концентрация хлоридов, Орг. – массовая доля органического вещества, Орг. ср. – среднее значение для органического вещества (%), Орг. ст. – стандартная ошибка для органического вещества.

Полученные значения отразили незначительное изменение содержания органического вещества в результате солевого загрязнения, несмотря на существенный рост концентрации загрязнителей и частичную гибель растительности. Спустя 7 лет после аварии массовая доля ОВ снизилась в среднем с 97.4 до 96%.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛАНДШАФТОВ ОСУШЕННЫХ КОТЛОВИН ЮГО-ВОСТОКА БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

С. В. Якубенко*, Д. А. Каверин**

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

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

E-mail: staslp750@gmail.com

Термокарстовые озера занимают значительные площади в тундровой зоне европейского Севера. Процессы дренирования термокарстовых озерных котловин в криолитозоне происходят непрерывно, что обусловлено влиянием климатических и ландшафтных факторов. Трансформация почвенно-растительного покрова осушенных котловин напрямую влияет на мерзлотную обстановку в их контурах (Kaverin et al., 2017). Цель работы – определить закономерности ландшафтных изменений осушенных термокарстовых котловин юго-востока Большеземельской тундры на основе анализа данных дистанционного зондирования.

Урочище Пятембой-Гладь находится в Большеземельской тундре в 80 км к С-З от г. Воркута. Территория участка исследований представляет собой слабохолмистую равнину (90–100 м н.у.м.), расчлененную долинами р. Мал. Юнкошор (бассейн р. Уса) и его притоков, ложбинами, полосами стока и озерными котловинами. Урочище находится в зоне преимущественно сплошного распространения многолетнемерзлых пород со среднегодовыми температурами $-2...0$ °С (Геокриологическая..., 1998). Основой для геоинформационного анализа растительного покрова выбрали космические снимки Sentinel-2 и Landsat 4-5, 7 в мультиспектральном диапазоне (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>). Для выполнения анализа использовано программное обеспечение QGIS 3.34. Операции с числовыми значениями проведены в MS Excel 2016.

При сравнении космоснимков выявлено, что наибольший контраст как внутри дренированных котловин, так и между ними и окружающими ландшафтными разностями проявляется в осенний период при использовании комбинации каналов: красный (B04-Sentinel; B03-Landsat), ближний инфракрасный (B08-Sentinel; B04-Landsat) и коротковолновые (B11, B12-Sentinel; B05, B07-Landsat). Для выделения контуров осушенных

котловин использована их готовая маска (Якубенко, Каверин, 2023), которая также была использована как контур обрезания. К обрезанному космоснимку в двух комбинациях (4-8-12, 4-11-12 (Sentinel) и 3-4-5, 3-5-7 (Landsat)) в целях достижения максимального контраста внутри котловин применен метод главных компонент (РСА). Анализ изменений площадей ПТК (природно-территориальных комплексов) внутри контуров осушенных котловин проведен методом максимального подобия при классификации подготовленных изображений снимков 1985 и 2023 гг. Основой для выделения ПТК являлись различные типы растительных сообществ. Классификацию снимков проводили в несколько этапов:

1. Выделение эталонных классов. Эталоны выделялись на основании экспертной классификации и данных, полученных во время полевых работ. Условиями для выделения классов выбрана площадь > 12 пикселей и максимальная гомогенность участка. На снимке 1985 года, ввиду низкого пространственного разрешения для выделения типов ПТК также использовались летние космоснимки того же года в натуральных цветах;

2. Создание сигнатур искомым типам ПТК путем формирования полигонов по границам выделенных эталонных классов;

3. Классификация растра на основании значений его RGB-композиции с примененным к нему РСА¹ в двух вышеуказанных комбинациях;

4. Векторизация растра с расчетом площади полигонов.

В контурах осушенных в 1979 г. озерных котловин на космоснимке 2023 г. выделено 11 типов ПТК: вейниково-осоковые луговины, ивняковые заболоченные тундры, остаточные озера, кустарничко-моховые тундры, травяные (осоковые) топи, осоковые заболоченные луговины, моховые тундры, хвощевые топи, ерниковые тундры, заболоченные луговины и ивняковые тундры. На космоснимке 1985 г. выделены типы, отсутствующие на снимке 2023 г.: поверхности с открытым дренированным и обводненным торфом, вейниковые луговины, пушицевые луговины. Типы ПТК, существующие на протяжении всего периода исследований: вейниково-осоковые луговины, травяные (осоковые) топи, хвощевые топи, осоковые заболоченные луговины и остаточные озера.

В 1985–2023 гг. в пределах дренированных осушенных котловин произошли существенные изменения структуры ПТК на фоне значительных изменений, прежде всего, растительного покрова (рис.).

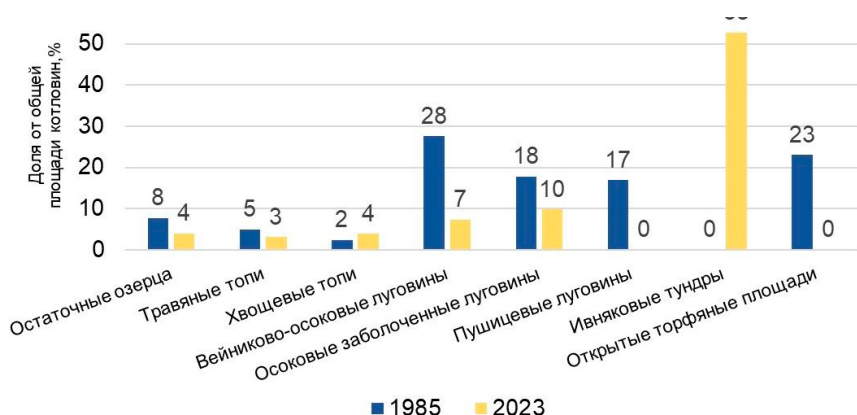


Рис. Динамика изменений структуры ПТК исследуемых дренированных котловин, отражающая сукцессионные изменения растительного покрова в 1985–2023 гг.

Анализ изменений структуры ПТК дренированных озерных котловин показывает существенное уменьшение остаточной водной поверхности, значительные изменения произошли в структуре и луговых тундровых сообществах. Сильно сократилась площадь вейниково-осоковых и осоковых заболоченных луговин. Полностью исчезли существовавшие в 1985 г. пушицевые луговины и обширные площади с оголенным торфом. На этом фоне наблюдалась сильная экспансия ивняковой растительности.

Исследования выполнены при поддержке гранта РНФ 24-27-00056.

ЛИТЕРАТУРА

Геокриологическая карта СССР, масштаб 1:2,5 млн. / Отв. ред. Е. Д. Ершова, К. А. Кондратьева. – М.: Мин. геологии СССР и МГУ, 1998. – 16 л.

Якубенко, С. В. Спектральный анализ почвенно-растительного покрова дренированных озерных котловин Большеземельской тундры / С. В. Якубенко, Д. А. Каверин // Мерзлотные почвы в антропоцене [Электронное издание]: сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции (Салехард – Лабытнанги, ЯНАО, Россия, 20-26 августа 2023) / отв. ред.: А. В. Лупачев, Е. М. Лаптева. – Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2023. – С. 163–164.

3. Kaverin, D. A. Long-term changes in the ground thermal regime of an artificially drained thaw-lake basin in the Russian European north / D. A. Kaverin, E. B. Melnichuk, N. I. Shiklomanov, N. B. Kakunov, A. V. Pastukhov, A. N. Shiklomanov // Permafrost and Periglacial Processes. – 2017. – Vol. 29. – P. 49–59. DOI: 10.1002/ppp.1963.

Секция 4

РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ, ГЕНЕТИКА. ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ НА ОРГАНИЗМ

ВЛИЯНИЕ 5-ГИДРОКСИ-3'-ОКСАПЕНТОКСИ-2'-ЙОДЭТИЛЬНЫХ ЗАМЕСТИТЕЛЕЙ НА ПЕРИФЕРИЮ МАКРОЦИКЛА ДЕЙТЕРОПОРФИРИНА

Н. Д. Белых*, Т. К. Рочева**, И. О. Велегжанинов***,
Я. И. Пылина***, Д. В. Белых**

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

**Институт химии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

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

В настоящее время фотодинамическая терапия является одним из интенсивно развивающихся методов лечения онкологических заболеваний, все шире внедряемых в клиническую практику (van Straten et al., 2017). Этот метод основан на способности соединений, называемых фотосенсибилизаторами (ФС), генерировать при облучении светом с определенной длиной волны активные формы кислорода, приводя к поражению только облучаемых тканей. Важным свойством фотосенсибилизаторов является также способность в некоторой степени избирательно накапливаться в злокачественных новообразованиях. Сочетание этих свойств позволяет селективно уничтожать раковые клетки. В идеале, применение этого метода должно обеспечить уничтожение опухоли, без нанесения вреда окружающим ее клеткам нормальной ткани. Кроме того, фотодинамический эффект используют для дезактивации патогенных микроорганизмов и терапии соответствующих патологий (Hamblin, 2016). Предварительные исследования йодсодержащих производных хлорофилла а свидетельствуют, что алкокси-йодэтильное производное пиррофеофорбида а с фрагментом диэтиленгликоля в положении 3 макроцикла обладает низкой собственной и высокой фотоиндуцированной токсичностью и большим соотношением IC_{50} (Собственная)/ IC_{50} (Фотоиндуцированная) (Белых и др., 2022). Повышение эффективности фотодинамического действия связано с внедрением алкокси-йодэтильного фрагмента и увеличением способности к генерации активных форм кислорода (АФК).

Целью настоящего исследования является оценка влияния внедрения аналогичных фрагментов на периферию макроцикла дейтеропорфирина. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: 1) определение IC_{50} на культуре HeLa, 2) оценка распределения соединений (рис. 1) в клетке, 3) оценка уровня генерации активных форм кислорода.

Культуры клеток выращивали на среде DMEM/F12 (PAA Laboratories GmbH, Austria), содержащей 10% бычьей сыворотки (FBS) (HyClone, USA), без антибиотиков при 37 °C и 5% CO₂. Исследование темновой и фотоиндуцированной цитотоксической активности производных хлорофилла *a*, содержащих в молекуле атом йода, проводили в соответствии с процедурой, описанной в (Pylina et al., 2017) с использованием клеток линий *HeLa*, A549 и HT-29 (БиолоТ, Россия). Количество живых клеток оценивали методом FMCA, как описано в (Lindhagen et al., 2008) в соответствии с экспериментальным планом, описанным в (Pylina et al., 2017). Исследования проводили в шести биологических повторностях. В качестве количественной меры темновой и фотоиндуцированной токсичности использовали выживаемость клеток и величину IC₅₀ (концентрация полумаксимального ингибирования роста клеток). Также рассчитывали IC_{50(собств.)}/IC_{50(фото)} (табл.).

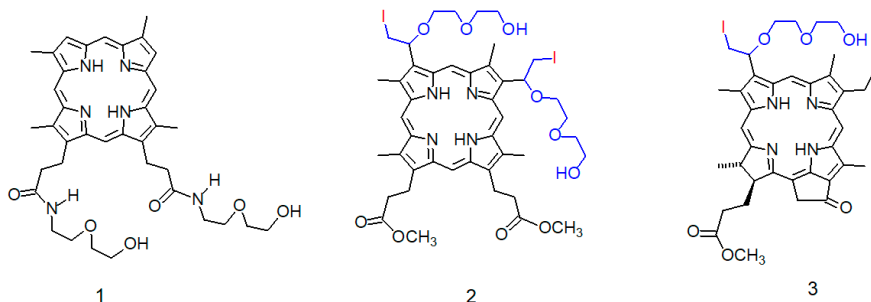


Рис 1. Структуры исследованных соединений.

Таблица

Значения IC₅₀ (мкМ) и IC_{50(собств.)}/IC_{50(фото)} для клеток линии *HeLa* при темновом и фотоиндуцированном воздействии алкокси-йодэтильного производного йодпроизводного пиррофеофорбида *a* и дейтеропопорфиринов

Воздействие	IC _{50(Собств)} ±SE, мкМ	IC _{50(Фото)} ± SE, мкМ	IC _{50(Собств)} / IC _{50(Фото)}
1 (белый свет)	0.49±0.02	81.80±5.13	167
2 (белый свет)	0.034±0.002	11.50±0.44	335
3 (белый свет)	0.083±0.002	>100 (63±14%)	1190
3 (красный свет, 660 нм)	0.021±0.009	>100 (63±14%)	4762

Анализ цитотоксичности таких соединений показал увеличение как собственной, так и фотоиндуцированной токсичности для соединения 2 (рис. 1) при внедрении алкокси-йодэтильной группы. При этом фотоиндуцированная токсичность достигла

значения алкокси-йодэтильного производного пиррофеофорбида а. Однако соотношение $IC_{50(собств.)}/IC_{50(фото)}$ равно 335 из-за параллельного повышения собственной цитотоксичности. Такой результат сопоставим с соотношениями активных ФС, однако значительно хуже, чем у соединения 1. Соединение 6 без атома йода в молекуле и содержащее аналогичные фрагменты, имеет более низкие собственную и фотоиндуцированную токсичности, а также соотношение $IC_{50(собств.)}/IC_{50(фото)}$ равно 167.

Анализ уровня АФК показал достоверное увеличение способности соединения 2 с алкокси-йодэтильной группой к генерации АФК по сравнению соединением 1 (рис. 2)

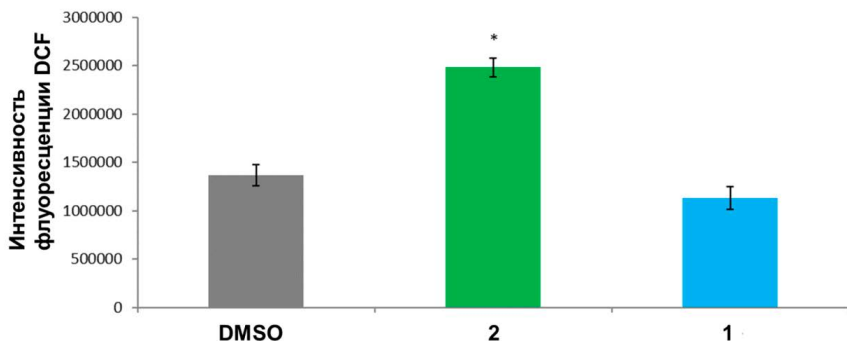


Рис. 2. Уровень АФК при фотоиндуцированном воздействии соединений 1 и 2.

Для соединений 1, 2 и 3 было исследовано распределение в компартментах клетки. По данным люминесцентной микроскопии исследованные соединения 1, 2 и 3 не проникают в ядро. Соединения 2 и 3 локализуются преимущественно в митохондриях и комплексе Гольджи, практически не накапливаясь в лизосомах. Соединение 1 обнаруживается в основном в лизосомах, почти не накапливаясь в митохондриях и комплексе Гольджи.

Таким образом:

1. Внедрение алкокси-йодэтильной группы увеличивает собственную и фотоиндуцированную цитотоксичность дейтеропорфина.

2. Повышение эффективности фотодинамического действия связано с увеличением способности соединения 2 (рис. 1) к генерации АФК.

3. Данные о колокализации соединений позволяют предположить, что структура соединений влияет на их распределение и вследствие этого на фотоиндуцированную цитотоксичность.

ЛИТЕРАТУРА

Белых, Д. В. Синтез, темновая и фотоиндуцированная цитотоксичность 1-алкокси-2-йодэтильных производных хлорофилла а / Д. В. Белых, Е. И. Пушкарева, Г. В. Кутаева, Н. Д. Белых, Д. А. Серова, И. О. Велегжанинов // Макрогетероциклы. – 2022. – № 15 (2). – С. 90–100.

Hamblin, M. R. Antimicrobial photodynamic inactivation: a bright new technique to kill resistant microbes / M. R. Hamblin // *Curr Opin Microbiol.* – 2016. – N 33. – P. 67–73.

Lindhagen, E. The fluorometric microculture cytotoxicity assay / E. Lindhagen, P. Nygren, R. Larsson // *Nature protocols.* – 2008. – N 3. – P. 1364–1369.

Pylyna, Y. I. Dark and Photoinduced Cytotoxic Activity of the New Chlorophyll-a Derivatives with Oligoethylene Glycol Substituents on the Periphery of Their Macrocycles / Y. I. Pylyna, D. M. Shadrin, O. G. Shevchenko, O. M. Startseva, I. O. Velegzhaninov, D. V. Belykh, // *International Journal of Molecular Sciences.* – 2017. – N 18 (1). – P. 1–14.

van Straten, D. Oncologic Photodynamic Therapy: Basic Principles, Current Clinical Status and Future Directions / D. van Straten, V. Mashayekhi, H. S. de Bruijn, S. Oliveira, D. J. Robinson // *Cancers.* – 2017. – N 9 (2). – P. 19.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СВОЙСТВ ЛИГНИНА ИЗ СТЕБЛЕЙ ОВСА

**А. В. Ермакова, О. В. Раскоша, Н. Н. Старобор, Л. А. Башлыкова,
И. С. Боднар, А. П. Карманов, Л. С. Кочева**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: ermakova_a.v@ib.komisc.ru

В последнее время возрастает актуальность исследований биомедицинского потенциала веществ на растительной основе, содержащих фенольные соединения, таких как лигнины (Lu et al., 2022). Лигнины – уникальные и сложные биополимеры, содержащиеся преимущественно в клетках сосудистых растений, химическая структура которых изменчива и в значительной степени зависит от биологического вида растения. Анализ современной литературы показал, что большая часть исследователей занимается решением задач биомедицинского назначения, связанных с использованием технических лигнинов (гидролизный лигнин, сульфатный лигнин, лигносульфонаты и сульфатированные производные и т.д.). Тогда как информация по биологическому действию природных лигнинов представлена не так широко, хотя известна их высокая антиоксидантная, антимикробная и сорбционная активность (Kumar et al., 2021). Одним из многообещающих препаратов с биомедицинским потенциалом является лигнин, выделенный из стеблей овса (*Avena sativa*).

Цель настоящей работы – выявить возможную токсичность и биологическую эффективность растительного препарата на основе лигнина, полученного из стеблей овса, а также изучить его возможные противолучевые свойства в условиях острого и хронического действия ионизирующего излучения.

Работа выполнена на самцах и самках мышей линии СВА (возраст 5–6 месяцев и масса тела 22–23 г). Животных содержали в стандартных условиях вивария ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в научной коллекции экспериментальных животных (<http://www.skr-rf.ru/usu/471933/>) в соответствии с «Положением о виварии экспериментальных животных» (протокол № 1 от 24.01.2017). Лигнин выделяли из стеблей овса (*Avena sativa*) методом Пеппера и переводили в водорастворимую форму.

Статистический анализ данных, полученных в двух независимых группах сравнения (контрольной и экспериментальной), проводили с помощью программы Statistica 6. Для выявления различий между группами использовали непараметрический критерий Манна-Уитни.

Для оценки безопасности длительного приема лигнина мышцей опытных групп поили раствором лигнина в течение 4 и 8 месяцев. Расчет кумулятивной дозы препарата осуществляли с учетом массы тела животных и объема потребляемого ими раствора лигнина за время воздействия. Об отсутствии токсического воздействия лигнина при всех вариантах эксперимента свидетельствуют результаты сравнения массы тела и значений индексов внутренних органов (мозг, печень, сердце, почки, семенники и надпочечники) у опытных и соответствующих контрольных групп животных. Тем не менее, отметим, что прием лигнина в течение 8 месяцев вызывал увеличение массы и индекса сердца. Показатели периферической крови были в норме при всех вариантах воздействия. Микроядерный и ДНК-кометный тесты показали отсутствие генотоксического воздействия лигнина на костный мозг (КМ), щитовидную железу (ЩЖ) и семенники при его хроническом поступлении в организм животных.

Изучение противолучевых свойств лигнина осуществляли при однократном остром гамма-облучении животных в дозе 6 Гр (^{137}Cs , 0,75 Гр/мин.). Мыши получали перорально 0.01% раствор препарата в течение 8 суток (кумулятивная доза – 150 мг/кг массы тела животного) до (профилактический режим) или после (терапевтический режим) острого гамма-облучения.

Результаты молекулярно-клеточного анализа в половых клетках самцов не показали статистически значимых отличий от контрольных значений во всех вариантах эксперимента, тогда как в соматических клетках этих животных выявлены цитогенетические изменения, указывающие на проявление противолучевых свойств природного лигнина при остром облучении животных. Особенно выражено это проявлялось в клетках костного мозга (рис.). Об антиоксидантном действии лигнина при остром облучении свидетельствуют результаты снижения концентрации малонового альдегида (МДА) в эритроцитах животных при обоих режимах введения тестируемого препарата (рис.).

Установлено, что острое гамма-облучение животных статистически значимо увеличивало концентрацию гемоглобина, разброс в размерах эритроцитов и уменьшало средний объем эритроцитов. Терапевтический прием препарата (после облучения) способствовал нормализации этих показателей. Профилактическое введение лигнина (до облучения) животным было не эффективным.

Исследование противолучевых свойств природного лигнина при хроническом действии ионизирующего излучения проводили с помощью гамма-установки «Фотон» (Россия). Животных подвергали радиационному воздействию в течение 30 суток в дозе 30 сГр и одновременно поили раствором лигнина (0.005%). Полученные результаты свидетельствуют о проявлении противо-

лучевых свойств лигнина в органах и тканях с разной пролиферативной активностью. В КМ это выразалось в понижении МЯ и увеличении клеток с низкой фрагментацией ДНК, что косвенно свидетельствует об активации репарационных процессов. В ЩЖ и семенниках лигнин также проявлял радиопротекторные свойства.

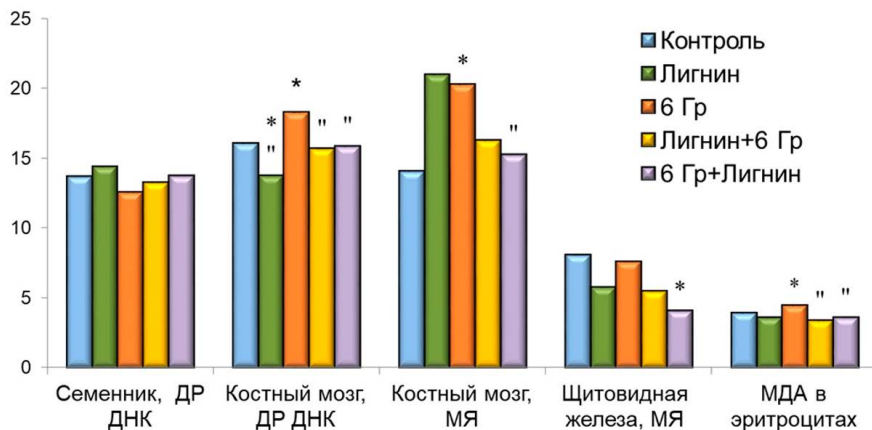


Рис. Результаты молекулярно-клеточного анализа: * – статистически значимое отличие от контроля; " – статистически значимое отличие от облучения в дозе 6 Гр при $p \leq 0.05$.

Таким образом, отсутствие выраженного токсического эффекта при длительном употреблении животными лигнина и способность модифицировать радиационные эффекты свидетельствуют о перспективности дальнейших исследований природного лигнина в качестве противолучевого средства, как при остром, так и при хроническом действии ионизирующего излучения.

Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 22-13-00196.

ЛИТЕРАТУРА

Lu, X. A review on lignin antioxidants: Their sources, isolations, antioxidant activities and various applications / X. Lu, X. Gu, Y. Shi // International Journal of Biological Macromolecules. – 2022. – Vol. 210. – P. 716–741.

Kumar, R. Lignin: Drug/Gene Delivery and Tissue Engineering Applications / R. Kumar, A. Butreddy, N. Kommineni, P. G. Reddy, N. Buneekar, C. Sarkar, S. Dutt, V. K. Mishra, K. R. Aadil, Y. K. Mishra, D. Oupicky, A. Kaushik // International Journal of Nanomedicine. – 2021. – Vol. 16. – P. 2419–2441.

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ И ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСТРАКТА ЖИМОЛОСТИ ПАЛЛАСА (*LONICERA PALLASII* L.)

Д. А. Голубев***, Н. В. Земская*, Д. В. Михайлова*, О. Г. Шевченко*,
С. А. Патов***, В. В. Пунегов*, М. В. Шапошников*, А. А. Москалев*

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

**Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

***Институт химии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: denismeatboy@gmail.com

Здоровое питание, включающее в себя растительные продукты, положительно сказывается на здоровье организма. Полагают, что благоприятные эффекты употребления таких продуктов могут в большой степени объясняться наличием фенольных соединений, содержащихся в растениях. Одним из наиболее перспективных классов фенольных соединений являются антоцианы, которые уже показали многообещающие результаты в защите от различных возрастных заболеваний, включая сердечно-сосудистые заболевания, рак, диабет 2 типа, болезнь Альцгеймера и другие. Антоцианы – водорастворимые пигменты, обладающие большим количеством биологической активности, в том числе антиоксидантной. Плоды жимолости Палласа (*Lonicera pallasii* L.) являются богатым источником данных соединений.

Целью этой работы является исследование влияния этанольного экстракта плодов *Lonicera pallasii* L. на продолжительность и качество жизни, включая уровень метаболизма, а также возможные механизмы их биологической активности, включая антиоксидантную активность. Мы использовали *D. melanogaster* и эритроциты мышей в качестве моделей для исследований методами *in vivo* и *in vitro*, соответственно (Lee, Min, 2019).

Сбор материала проводился в осенний период (август–сентябрь) на территории Республики Коми на базе УНУ «Научной коллекции живых растений» Ботанического сада ИБ Коми НЦ УрО РАН, регистрационный № 507428. Эксперименты проводили на особях *D. melanogaster* линии дикого типа *Canton-S*, которые содержались в климатических камерах при постоянных условиях (25 °C и 12-часовом режиме освещения). На каждый вариант эксперимента отбирали 120–150 особей. Каждый эксперимент проводился в 2–3 биологических повторностях.

У полученных экстрактов выполнена сравнительная оценка антиоксидантной активности на моделях *in vitro*, включая окислительный гемолиз эритроцитов млекопитающих, инициированный H_2O_2 либо 2,2'-азобис-(2-амидинопропан) гидрохлоридом (AAPH). Кроме того, проведено исследование антирадикальной активности (АРА) соединений в тесте с дифенилпикрилгидразилом (ДФПГ) и антиоксидантной активности на модели Fe^{2+} /аскорбат-иницированного перекисного окисления липидов в субстрате, полученном на основе гомогената головного мозга лабораторных животных. В качестве соединения сравнения использовали бутилированный гидрокситолуол (ВНТ). Эксперименты повторяли 4–8 раз.

Опубликованные ранние данные (Golubev, 2022), показали, что экстракт из плодов жимолости, содержащий цианидин-3-глюкозид и другие антоцианы, увеличивал продолжительность и качество жизни (локомоторную активность, устойчивость к стрессу и целостность кишечного барьера) особей *D. melanogaster*. Возможный механизм геропротекторной активности компонентов экстракта, как установлено на дрозофиле, может быть обусловлен активацией сигнального пути KEAP1/NRF2 и изменением уровня экспрессии генов *Hif1* и *Keap1*. С использованием различных моделей *in vitro* установлено наличие высокой антиоксидантной активности экстракта ягод жимолости, обусловленное отчасти присутствием в нем цианидин-3-глюкозида. В дополнение к этой работе мы решили изучить влияние экстракта жимолости на уровень метаболической активности *D. melanogaster*.

Анализ метаболических процессов и затрат энергии имеет важное значение для понимания механизмов, лежащих в основе старения и долголетия (Catic, 2018). Частота дыхания, важнейший показатель метаболической активности клеток, тесно связана с процессом старения и общим состоянием здоровья организма (Bragic and Trifunovic, 2010). Используя проточную респирометрию для оценки уровня выделения углекислого газа (CO_2), было установлено, что экстракт жимолости в концентрации 100 мкмоль/л в основном снижал уровень метаболизма у самцов и самок. Однако в возрасте 8 недель экстракт увеличил уровень индукции CO_2 у самцов (рис.). Полученные данные демонстрируют, что экстракт жимолости обладает способностью влиять на уровень метаболизма, что предполагает его потенциальное воздействие на митохондрии, играющих ключевую роль в энергетическом обмене клетки. Наши результаты указывают на перспективы дальнейшего изучения фармакологической активности экстракта плодов жимолости, а также их использования в функциональном питании.

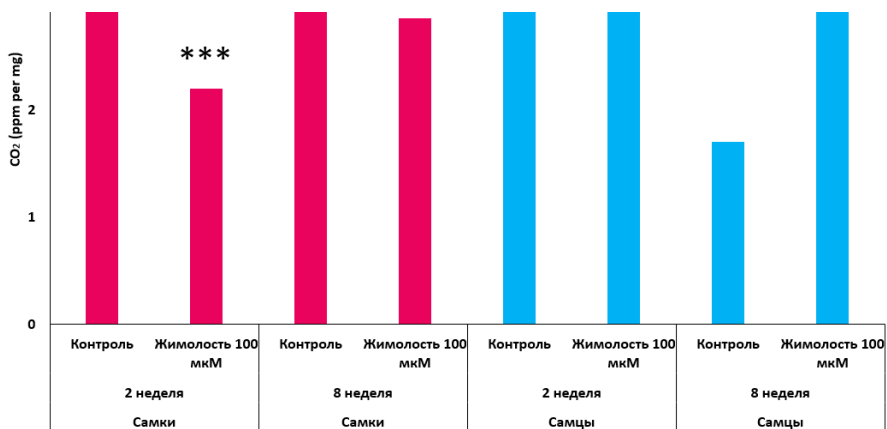


Рис. Эффект влияния экстракта жимолости на уровень выработки CO₂ у самок и самцов различного возраста. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Двухфакторный ANOVA (анализ дисперсии), оценивающий влияние типа среды и возраста с последующим сравнением попарно с использованием пост-хок теста Тьюки.

ЛИТЕРАТУРА

Bratic, I. Mitochondrial energy metabolism and ageing / I. Bratic, A. Trifunovic // *Biochim Biophys Acta.* – 2010. – Vol. 1797(6-7). – P. 961–7.

Catic, A. Cellular Metabolism and Aging // *Prog Mol Biol Transl Sci.* – 2018. – Vol. 155. – P. 85–107.

Golubev, D. Honeysuckle extract (*Lonicera pallasii* L.) exerts antioxidant properties and extends the lifespan and healthspan of *Drosophila melanogaster* / D. Golubev, N. Zemskaya, O. Shevchenko, M. Shaposhnikov, D. Kukuman, S. Patov, V. Punegov, A. Moskalev // *Biogerontology.* – 2022. – Vol. 23. – P. 215–235.

ВЛИЯНИЕ ДИЕТ НА ОСНОВЕ ХЛЕБНЫХ ЗЛАКОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ *D. MELANOGASTER*

Н. В. Земская*, Д. В. Михайлова*, Е. Ю. Платонова*, Н. Р. Пакшина*,
Н. С. Уляшева*, Д. В. Яковлева*, Д. А. Голубев*, М. В. Шапошников***,
К. У. Куркиев**, Е. К. Хлесткина**, А. А. Москалев***

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: kukushonok90@yandex.ru

**Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт
генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова

Старение непосредственно связано с ухудшением физиологических функций организма. С целью увеличения продолжительности жизни (ПЖ) и улучшения качества жизни организма необходимо дополнять рацион различными фитонутриентами, которые могут обладать геропротекторными (антивозрастными) свойствами (Gupta, 2014). Зерно хлебных злаковых культур содержит все необходимые питательные вещества (углеводы, белки и витамины), а также значительное количество биологически активных веществ, таких как каротиноиды, флавоноиды и фенольные соединения. В связи с этим в настоящее время появляется интерес к питательным и функциональным продуктам питания из злаковых культур.

Объектом настоящего исследования являются 70 цельнозерновых образцов хлебных злаков, из них 67 образцов пшеницы, 1 образец ржи и 2 образца тритикале. Все образцы получены с делянки Дагестанской опытной станции Федерального исследовательского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (Дербент, Россия). Состав питательной среды, на которой содержали контрольных и опытных животных при проведении всех экспериментов, был адаптирован, учитывая нутрициологические потребности мух. Исходили из соотношения белков и углеводов 1:4, оптимального для поддержания компонентов приспособленности мух (Lee, 2015; Lee, 2008). Статистический анализ результатов выживаемости при температуре 29 °С, которая превышает оптимальную для дрозофил температуру 25 °С, позволил выявить образцы хлебных злаков, обладающих геропротекторным потенциалом: Дербентская черноколосая (твердая пшеница), Янтара (полба), Линия 1 (полба), 1222 (полба), 904 (мягкая пшеница), 939 (тритикале), 5807 (пшеница Тимофеева), 5811 (однозернянка), 5814 (однозернянка). Образец 5766 (персидская пшеница), при котором отмечали снижение выживаемости, ис-

пользовали в качестве отрицательного контроля. 5762 (полба) – нет эффекта на выживаемость, использовали как контрольный образец.

В экспериментах по изучению влияния состава диет на показатели ПЖ было показано увеличение медианной ПЖ самцов при употреблении диет на основе образцов 939, 904, 5807, 5811, Линия 1, Янтара (до 24%), но также наблюдали снижение максимальной ПЖ самцов при употреблении в пищу образцов 1222, 904, 5811, 5814, Линия 1 (до 8%). У самок диета на основе Дербентской пшеницы увеличивала медианную и максимальную ПЖ (до 6%), а диеты на основе образцов 904, 1222, 5811 снижали максимальную ПЖ (до 5%).

Поскольку ПЖ может варьировать в зависимости от уровня поступления калорий и нутриентов, был проанализирован уровень потребления пищи в зависимости от состава диеты и возраста особи. Двухфакторный дисперсионный анализ показал статистически значимый вклад состава диеты в уровень потребления пищи у самцов и самок. Хотя возраст особи также оказывал статистически значимое влияние на уровень потребления пищи у самок, у самцов вклад возраста не выявлен. Взаимодействие двух факторов показано для самцов, но отсутствует у самок. Апостериорный тест Тьюки показал, что у мух, содержащихся на питательной среде с добавлением Янтара (30 сут.) и Дербентской черноколосой (45 сут.) уровень потребления пищи выше, чем в контрольных вариантах 5766 и 5762. У самок, содержащихся на питательной среде с добавлением 904 (45 сут.) отмечено снижение уровня потребления пищи. Образцы Янтара, Дербентская черноколосая и 904 приводили к увеличению ПЖ дрозофил. Таким образом, результаты теста свидетельствуют, что эффекты хлебных злаков в составе диет на продолжительность жизни не связаны с ограничением калорийности питания.

Масса тела является одними из наиболее информативных количественных показателей, отражающих состояние различных функциональных систем организма в процессе старения. В настоящем исследовании показано, что возраст особи, состав диеты, а также взаимодействие этих факторов оказывают статистически значимый эффект на массу тела самцов и самок. Апостериорный тест Тьюки продемонстрировал увеличенную массу тела самцов в долгоживущем варианте 904 по сравнению с контролем 5762. При этом у самок данный вариант характеризовался сниженной массой тела и отсутствием эффекта на ПЖ.

Поскольку стрессоустойчивость коррелирует с ПЖ, мы проводили оценку влияния содержания хлебных злаков в составе питательной среды на выживаемость дрозофил в неблагоприятных условиях: воздействие гипертермии, голода и параквата (ин-

дуктор окислительного стресса). Установлено, что наибольшая устойчивость ($p < 0.001$) к гипертермии (согласно данным по максимальному времени выживания) наблюдается у самцов при содержании на диете из образцов 5762, Дербентская черноколосая, Линия 1. У самок наибольшая устойчивость ($p < 0.001$) к гипертермии наблюдается при содержании на диете из образцов Дербентская черноколосая, 904, 939. У самцов устойчивость к голоду увеличивается ($p < 0.001$) при содержании на среде, приготовленной на основе образцов Янтара, Линия 1, 1222, а у самок – при добавлении в состав среды образцов Янтара, 904 и 5814. Устойчивость к параквату увеличивается ($p < 0.001$) у самцов на среде с содержанием образцов Дербентская черноколосая, Линия 1, 1222, 939, 5807, а у самок – при добавлении в состав среды образцов Дербентская черноколосая, Янтара, Линия 1, 904. Таким образом, рацион, подобранный с учетом нутрициологических потребностей организма, может способствовать увеличению устойчивости организма к неблагоприятным факторам среды.

Полученные результаты свидетельствуют, что модулирование качественного состава диеты на основе хлебных злаков ведет к существенным изменениям физиологического состояния модельного организма *Drosophila melanogaster* и изменению такого интегрального показателя как продолжительность жизни. Полученные в настоящем исследовании результаты могут быть использованы при разработке нутрициологических подходов к обеспечению здорового долголетия, повышению адаптивных возможностей организма и отсрочиванию формирования возраст-зависимых патологий.

Работа выполнена при поддержке Гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий № 2021-1930-FP5-9600-3182.

ЛИТЕРАТУРА

- Gupta, C. Phytonutrients as therapeutic agents / C. Gupta, D. Prakash // J Complement Integr Med. – 2014. – Vol. 11. – N 3. – P. 151–169.
- Lee, K. P. Dietary protein:carbohydrate balance is a critical modulator of lifespan and reproduction in *Drosophila melanogaster*: a test using a chemically defined diet / K. P. Lee // J Insect Physiol. – 2015. – Vol. 75. – P. 12–19.
- Wang, C. Statistical methods for testing effects on «maximum lifespan» / C. Wang, Q. Li, D. T. Redden, R. Weindruch, D. B. Allison // Mech Ageing Dev. – 2004. – Vol. 125. – N 9. – P. 629–632.

РАЗРАБОТКА АДсорбЕНТА НА ОСНОВЕ BN, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕРОМ (2-ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТ) ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УДАЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ АНТИБИОТИКОВ ИЗ ВОДЫ

К. Ю. Котякова, Л. Ю. Антипина, Д. В. Штанский

Национальный исследовательский технологический университет МИСИС

E-mail: kristinkagudz@mail.ru

За последние десятилетия произошел резкий рост фармацевтической промышленности, это обусловлено возникновением новых инфекционных заболеваний и увеличением потребления лекарств во всем мире. За годы пандемии Covid-19 загрязнение воды, вызванное остатками терапевтических препаратов, резко усугубилось, поскольку миллионы пациентов во всем мире ежедневно потребляли большое количество лекарств. Загрязнение сточных вод антибиотиками является одной из серьезных социальных и экологических проблем в настоящее время, т.к. их присутствие в водной среде представляет риск не только для водных организмов, но также отрицательно влияет на здоровье человека. Сообщалось, что из 71% земной поверхности, покрытой водой, только менее 1% воды пригодно для питья по международным стандартам из-за наличия различных загрязнений. Все это свидетельствует о высокой актуальности и научной значимости данного исследования, направленного на разработку эффективных методов и новых способов обнаружения и удаления антибиотиков из водной среды.

Данное исследование направлено на разработку устойчивого композитного материала с помощью простых, недорогих и оперативных процедур модификации.

В качестве основы выбран гексагональный нитрид бора (BN), модифицированный полимером 2-гидроксиэтилметакрилат (pHEMA), для повышения эффективности удаления антибиотиков из сточных вод. Сорбционные способности были изучены в отношении тетрациклина (TC) и линезолида (LNZ).

Установлено, что процент удаления и максимальная адсорбционная способность через 24 ч сильно зависят от начальной концентрации антибиотиков в воде. Значения максимальной адсорбционной емкости pHEMA/BN составили 612.8 и 491.2 мг/г в отношении TC и LNZ, что значительно выше значений чистого образца BN 502.8 и 340.6 мг/г соответственно. Это еще раз подтверждает, что модификация BN полимером pHEMA повышает эффективность адсорбента.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФ проект № 21-79-10411.

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНА CYP6D1 У ОСОБЕЙ ЛАБОРАТОРНЫХ ЛИНИЙ *M. DOMESTICA* L.

К. С. Крестоношина, А. Д. Мельничук, Л. Я. Янгирова

Всероссийский научно-исследовательский институт
ветеринарной энтомологии и арахнологии

E-mail: krutko.k.s@hotmail.com

Цитохром р450 (цитохром P450-зависимая монооксигеназа CYP, P – от английского Pigment) – является собирательным названием для ферментов семейства P450 (Danielson, 2002). Доказано, что ферменты семейства P450 играют ключевую роль в детоксикации широкого спектра синтетических инсектицидов (Scott, 1999; Liu et al., 2015). При воздействии инсектицида в организме насекомых начинается повышенная или, наоборот, пониженная экспрессия множественных генов P450 (Yang, 2011). Повышенная экспрессия P450, особенно семейства изоформ CYP6, часто обнаруживается у устойчивых к инсектицидам линий насекомых (Lu, 2021; Nauen et al., 2022). Для изучения молекулярных основ развития инсектицидной резистентности насекомых важно исследовать не только устойчивые линии, но и чувствительные, чтобы оценить связаны ли различия в экспрессии генов с особенностями популяций и будут ли они в дальнейшем коррелировать с воздействием инсектицида.

Цель исследования состояла в оценке уровня экспрессии гена CYP6D1 в пупариях *Musca domestica* двух лабораторных линий, чувствительных к инсектициду хлорфенапиру.

В данной работе были использованы пупарии, через 7 дней с момента окукливания, двух чувствительных лабораторных линий *M. domestica* L. Lab TY и Lab UF, не подвергавшихся воздействию инсектицидами. Линия Lab TY была получена из Новосибирского аграрного университета в 2009 году, линия Lab UF – из лаборатории биохимии адаптивности насекомых Института биохимии и генетики УФИЦ РАН в 2023 году. Особи двух линий содержались в боксах с поддержанием постоянной температуры 27 ± 1 °C и относительной влажности воздуха 50 ± 5 %.

Для изучения уровня транскриптов гена CYP6D1 использовали метод обратной транскрипции в сочетании с полимеразной цепной реакцией в реальном времени (RT-qPCR). Тотальную РНК (тотРНК) выделяли с помощью микроколонок High Pure total-RNA kit (Magen). Для очистки образцов от примесей геномной ДНК все образцы с суммарной РНК дополнительно обрабатывали ДНКазой I (Диаэм) в течение 15 минут. Для экспериментов брали тотРНК с коэффициентом поглощения 1.9–2.1 при соотношении

260нм/280нм. Целостность фракций тотРНК проверяли методом электрофореза в 1% агарозном геле. Первую цепь кДНК синтезировали с помощью набора MMLV RT (Evrogen) согласно инструкции производителя. Праймеры были разработаны с использованием программного обеспечения SnapGene 7.1 в сочетании с Primer 3. В качестве референсных генов использовали фактор элонгации 1, EF-1 и рибосомальный белок s18, RPS18. qPCR проводили, используя смесь 5x HS-qPCR SYBR (Evrogen), на амплификаторе Gentier 96E (Tianlong). Условия амплификации были одинаковы для каждого праймера: на первом этапе была преинкубация при 95 °С в течение 5 минут, далее 35 циклов денатурация по 1 минуте при 95 °С, отжиг 20 секунд при 58 °С и элонгация 20 секунд при 72 °С.

Анализ проводили для 15 образцов Lab TY и 14 образцов Lab UF. Так как было использовано два референсных гена для начала усредняли их значения Ct : $ct[ref] = \text{mean}(ct[ref[1], ct[ref[2]])$. Относительно полученного значения $Ct[ref]$ проводили анализ дельта-дельта- Ct для каждой линии. Статистический анализ проводили в программе Python 3.11. Средний уровень экспрессии CYP6D1 для линии Lab TY составлял 0.213, а для Lab UF – 0.496. Рассчитав U-критерий Манна-Уитни по полученным данным, сравнили две популяции. Статистика критерия Манна-Уитни между Lab TY и Lab UF: 44.0, р-значение критерия Манна-Уитни между двумя популяциями: 0.008. Поскольку р-значение меньше 0.05, мы можем отвергнуть нулевую гипотезу. Уровень экспрессии гена CYP6D1 в Lab UF выше в 2.33 раза, по сравнению с особями линии Lab TY. Указанные отличия статистически значимы.

Обнаруженные отличия, скорее всего, связаны с тем, что исследуемые лабораторные линии *M. domestica* не стандартизированы и имеют разное происхождение. Таким образом, основываясь на выявленных различиях между двумя лабораторными линиями по уровню экспрессии генов, считаем, что при проведении молекулярных исследований модельных организмов наиболее корректно сопоставлять результаты, полученные на одной и той же линии и в дальнейших исследованиях, необходимо учитывать выявленные различия.

Работа выполнена всероссийским научно-исследовательским институтом ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2022-0022).

ЛИТЕРАТУРА

Danielson, P. B. The cytochrome P450 superfamily: biochemistry, evolution and drug metabolism in humans / P. B. Danielson // *Current drug metabolism*. – 2002. – Vol. 3. – N. 6. – P. 561–597.

Liu, N. Insecticide resistance in mosquitoes: impact, mechanisms, and research directions / N. Liu // *Annual review of entomology*. – 2015. – Vol. 60. – P. 537–559.

Scott, J. G. Cytochromes P450 and insecticide resistance / J. G. Scott // *Insect biochemistry and molecular biology*. – 1999. – Vol. 29. – N 9. – P. 757–777.

Yang, T. Genome analysis of cytochrome P450s and their expression profiles in insecticide resistant mosquitoes, *Culex quinquefasciatus* / T. Yang, N. Liu // *PLoS one*. – 2011. – Vol. 6. – N. 12. – P. e29418.

Nauen, R. The role of cytochrome P450s in insect toxicology and resistance / R. Nauen, C. Bass, R. Feyereisen, J. Vontas // *Annual review of entomology*. – 2022. – Vol. 67. – P. 105–124.

Lu, K. The role of cytochrome P450-mediated detoxification in insect adaptation to xenobiotics / K. Lu, Y. Song, R. Zeng // *Current Opinion in Insect Science*. – 2021. – Vol. 43. – P. 103–107.

АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА И ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСТРАКТОВ ОТРУБЕЙ ПШЕНИЦЫ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ АНТОЦИАНОВ

Д. В. Михайлова*, О. Г. Шевченко*, Д. А. Голубев*, Е. Ю. Платонова*,
Н. В. Земская*, О. Ю. Шоева**, Е. И. Гордеева**, С. А. Патов***,
М. В. Шапошников*, Е. К. Хлесткина****, А. А. Москалев*

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

**Институт цитологии и генетики Сибирского отделения
Российской академии наук

***Институт химии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

****Всероссийский институт генетических ресурсов растений
им. Н. И. Вавилова

Антоцианы являются природными антиоксидантами и потенциальными геропротекторами (Alappat et al., 2020). В последние годы особое внимание уделяется выведению сортов пшеницы с высоким содержанием антоцианов с целью повышения качества продуктов питания и улучшения здоровья человека. Проведенные ранее исследования показали, что антоцианы остаются стабильными при производстве хлеба и могут быть легко включены в рацион человека при использовании фиолетового зерна в хлебобулочных изделиях (Хлесткина и др., 2017).

Целью данного исследования было изучение антиоксидантных и геропротекторных свойств экстрактов пшеничных отрубей методами исследования *in vitro* и *in vivo*. Для выполнения этой цели нами были поставлены следующие задачи: оценить антиоксидантную активность этанольных экстрактов (*in vitro*); оценить влияние солянокислых экстрактов на продолжительность жизни, стрессоустойчивость (окислительный стресс, гипертермия, голодание) и двигательную активность *D. melanogaster*. Солянокислые экстракты были получены из отрубей безантоциановой (*i:S29Pr-A1Pr-D1Pr3P*) и антоциановой (*i:S29Pr-A1Pr-D1Pr3P*) линий пшеницы, различающихся небольшим участком хромосомы 2A, содержащим ген *Pr3/TaMyc1*, регулирующий биосинтез антоцианов в перикарпе зерновки. Обе линии были созданы на основе краснозерного сорта пшеницы Саратовская 29 (Gordeeva et al., 2014). Пшеница обеих линий выращивалась в Новосибирской об-

ласти, на опытном участке селекционно-генетического комплекса ИЦиГ СО РАН.

Химический состав экстрактов отрубей пшеницы изучали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрией. Показано, что экстракт отрубей антоциановой линии пшеницы отличался высоким содержанием цианидин глюкозида и цианидин арабинозида.

Установлено, что экстракт отрубей из антоциановой пшеницы характеризовался более высокой антирадикальной активностью в тестах с DPPH и ABTS, а также большей мембранопротекторной активностью на модели ААРН-окислительного гемолиза по сравнению с экстрактом отрубей линии пшеницы, не содержащей антоцианов. Оба экстракта эффективно снижали интенсивность Fe^{2+} /аскорбат- и H_2O_2 -инициированного окисления полиненасыщенных жирных кислот, содержащихся в субстрате на основе гомогенатов тканей лабораторных животных, а также защищали их эритроциты от гибели в условиях H_2O_2 -индуцированного стресса.

Для выявления взаимосвязи между антиоксидантными свойствами экстрактов пшеницы и потенциальной геропротекторной активностью мы оценили различия по продолжительности жизни (ПЖ) *D. melanogaster* линии дикого типа *Canton-S* контрольных и получавших экстракты групп. Мухи содержались в климатических камерах при постоянных условиях. Экстракты наносились на поверхность питательной среды в объёме 30 мкл. В качестве растворителя и контроля использовали 1% водный раствор HCl.

По сравнению с контролем экстракт антоциановой пшеницы увеличил показатель медианной ПЖ у самок на 6% ($p < 0.001$, точный критерий Фишера), однако снизил этот показатель у самцов на 5% ($p < 0.001$). При добавлении экстракта безантоциановой пшеницы самкам увеличились показатели медианной ПЖ на 11% ($p < 0.001$) и максимальной ПЖ на 6% ($p < 0.01$). Полученные результаты показывают, что экстракты пшеницы обладают геропротекторным действием. Экстракт безантоциановой пшеницы оказывал наиболее выраженный эффект на ПЖ. При этом геропротекторный эффект отмечен только у самок.

Мы также проанализировали влияние экстракта на двигательную активность дрозофил. Двухфакторный дисперсионный анализ выявил статистически значимое влияние возраста ($p < 0.05$), присутствия экстрактов в питательной среде ($p < 0.001$), а также взаимодействия данных факторов ($p < 0.01$) на локомоторную активность самцов. Апостериорный анализ показал статисти-

чески значимое ($p < 0.01$) увеличение локомоторной активности самцов в возрасте трех недель после воздействия экстракта антоциановой пшеницы в составе питательной среды по сравнению с контролем. У самок наблюдается значимый эффект возраста ($p < 0.05$) и экстрактов ($p < 0.001$), однако взаимодействие данных факторов оказалось статистически не значимым ($p > 0.05$) и апостериорный анализ не выявил статистически значимых различий локомоторной активности между контрольными и экспериментальными самками в разном возрасте.

Поскольку стрессоустойчивость коррелирует с продолжительностью жизни, мы проводили оценку влияния экстрактов отрубей пшеницы на устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов среды. Несмотря на установленную антиоксидантную активность экстрактов пшеницы, продемонстрированную в экспериментах *in vitro*, нами не выявлено значимого влияния данных экстрактов на устойчивость мух к окислительному стрессу, вызванному прооксидантом паракватом. Предварительное содержание на питательной среде с экстрактом отрубей безантоциановой или антоциановой пшеницы снижало показатели медианой выживаемости самцов в условиях голодания на 9% ($p < 0.01$) и 11% ($p < 0.001$), соответственно. У самок наблюдалось снижение максимальной выживаемости в условиях голодания после содержания на среде с экстрактом отрубей безантоциановой пшеницы на 19% ($p < 0.01$). В то же время, в условиях гипертермии, экстракты безантоциановой и антоциановой пшеницы увеличивали медианную выживаемость самок на 33% ($p < 0.05$) и 50% ($p < 0.05$), соответственно. Экстракт безантоциановой пшеницы также увеличивал время медианой выживаемости самцов в условиях гипертермии на 8% ($p < 0.05$).

Таким образом, наше исследование показывает, что экстракты отрубей обеих линий пшеницы обладают антиоксидантным и геропротекторным действием. Кроме того, полученные результаты позволяют предположить, что, помимо антоцианов, другие вторичные метаболиты пшеничных отрубей обуславливают их антиоксидантный и геропротекторный потенциал.

Исследование геропротекторного потенциала экстрактов отрубей пшеницы на модели Drosophila melanogaster выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России проекта «Хлеб России» по соглашению № 075-15-2021-1066 от 28.09.2021 г. Оценку антиоксидантной активности образцов проводили в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600022-1.

ЛИТЕРАТУРА

Хлесткина, Е.К. Маркер-контролируемое получение и производство форм пшеницы с повышенным уровнем биофлавоноидов: оценка продукции для обоснования значимости направления / Е. К. Хлесткина, Н. И. Усенко, Е. И. Гордеева, О. И. Стабровская, И. Б. Шарфунова, Ю. С. Отмахова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – № 21. – С. 545–553.

Alappat, B. Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics / B. Alappat, J. Alappat // *Molecules*. – 2020. – Vol. 25. – N 23. – P. 5500.

Gordeeva, E. I. Marker-assisted development of bread wheat near-isogenic lines carrying various combinations of purple pericarp (Pp) alleles / E. I. Gordeeva, O. Y. Shoeva, E. K. Khlestkina // *Euphytica*. – 2015. – Vol. 203. – P. 469–476.

ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ СЫРЬЕВОЙ ФИТОМАССОЙ ЗВЕРБОЯ ПРОДЫРЯВЛЕННОГО (*HYPERICUM PERFORATUM*) И ЗВЕРБОЯ ПЯТНИСТОГО (*HYPERICUM MACULATUM*) НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Я. Д. Морданенко*, А. В. Вольховский**, К. А. Арапов**, Н. А. Медведева**

*Школа им. А. М. Горчакова

E-mail: volart86@mail.ru

**Ботанический институт им. В. Л. Комарова Российской академии наук

E-mail: medvedeva@binran.ru

Терригенные источники радионуклидов уранового и ториевого семейств обуславливают постоянное присутствие в почве естественных радионуклидов (ЕРН), таких как ^{226}Ra и ^{232}Th . Природный изотоп ^{40}K равномерно распределён в почвах планеты. На поверхности радионуклиды чаще всего поступают при добыче и переработке урановых руд, неуранового минерального сырья и ископаемого топлива. С середины XX века в окружающую среду начали поступать и техногенные радионуклиды. Этому способствовали ядерные испытания и аварии на АЭС, загрязняющие почву изотопами ^{137}Cs и ^{90}Sr на локальном и глобальном уровнях. Установлено, что изотопы ^{137}Cs и ^{90}Sr усваиваются человеком, являясь химическими аналогами К и Са соответственно, из-за чего представляют особую опасность.

Растения различаются по способности концентрировать ЕРН и техногенные радионуклиды. В литературе приводятся разнородные сведения о способности звербоя продырявленного (*H. perforatum* L.) аккумулировать техногенные ^{137}Cs и ^{90}Sr . Е. В. Корсун (Корсун и др., 2011) говорит о его умеренной концентрирующей способности. Другие авторы (Воронецкая, 2021) отмечают значительное превышение лекарственным растительным сырьём (ЛРС) данного вида растения установленных нормативов ($A_{\text{уд}}(^{137}\text{Cs}) < 400$, $A_{\text{уд}}(^{90}\text{Sr}) < 200$ Бк/кг). Сведения о накоплении техногенных радионуклидов *H. maculatum* обычно приводятся в совокупности с близкородственным *H. perforatum* (Алентьева и др., 2018). Звербой продырявленный представляет интерес для массовых заготовок ЛРС, так как признан одним из важнейших фармакопейных растений во многих странах мира. Препараты на его основе обладают вяжущим, антифлогистическим, антисептическим, антидепрессивным эффектом, а также воздействуют на вирусы герпеса, гепатита В, парагриппа-3 и др. (Эчишвили и др., 2014). Звербой пятнистый также входит в состав лекарственных

сборов. В Ленинградской области (ЛО) зверобой встречается в основном в луговых сообществах (луга составляют 6.2% территории ЛО, или 526.7 тыс. га) и опушках леса, вырубках, а также вдоль дорог спорадически, в виде пятен. При заготовках и производстве фитопрепаратов законодательством РФ предусмотрен радиационный контроль ЛРС.

Целью исследования является изучение накопления ЕРН и техногенных радионуклидов в сырьевой части растений *H. maculatum* L. и *H. perforatum* L., собранных в естественных местонахождениях Ленинградской области (ЛО). Время массового цветения обоих видов зверобоя в условиях ЛО приходится на июль-август. Сбор лекарственного сырья для анализа осуществлялся в 2021–23 гг. ЛРС взвешивали и высушивали по общепринятой методике. Почву для анализа отбирали методом конверта в корнеобитаемой зоне на глубине до 20 см. Активность радионуклидов в почве и ЛРС измеряли на спектрометрических комплексах «ПРОГРЕСС» и «РАДЭК» по стандартной методике. Полученные данные приведены в таблице.

Таблица

Удельная активность ($A_{уд}$) естественных и техногенных радионуклидов в ЛРС *H. maculatum* и *H. perforatum*, Бк/г

Пункт	Вид	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	^{90}Sr	$A_{эфф.}$
1	<i>Hypericum maculatum</i>	<32.6	<27.0	<611.0	<15.0	<13.1	<119.1
2a		<24.0	<20.0	<105.8	<15.1	<11.7	<67.7
2b		<48.6	<24.0	<233.4	<13.6	<11.4	<99.8
3		<33.6	<27.0	<255.7	<15.4	<8.6	<90.9
4	<i>Hypericum perforatum</i>	<14.2	<16.3	<387.0	<10.4	<16.2	<68.4
5		<22.1	<27.7	<387.0	<11.9	<14.9	<91.3
6		<32.9	<25.8	<274.0	<15.1	<18.9	<90.0
7		<24.7	<20.3	<207.2	<11.3	<4.5	<68.9
8		<33.4	<27.3	<225.5	<15.4	<4.1	<88.3
9		<25.1	<20.3	<171.4	<11.5	<10.7	<66.0
10	<44.9	<33.2	<684.0	<16.1	<0.55	<146.5	

Примечание: Пункты сбора материала: 1 – влажный луг близ д. Подмощье (Ломоносовский р-н), 2 – разнотравный луг близ песчаного карьера (ж/д ст. «52 км» Киришского р-на), 3 – опушка березняка близ ж/д ст. «Мариенбург» (Гатчинский р-н), 4 – луг близ д. Ивановское (Ломоносовский р-н), 5 – луг на г. Ореховая (Красносельский р-н Санкт-Петербурга), 6 – луг у подножия г. Кирхгофф (Ломоносовский р-н), 7 – урочище Донцо (Волосовский р-н), 8 – ж/д ст. Александровская (Пушкинский р-н Санкт-Петербурга), 9 – луг в урочище Вороново (Кировский р-н), 10 – пойменный луг близ биостанции «Железо» (Лужский р-н).

Все проанализированные пробы соответствовали нормативам радиационной безопасности. Максимальная $A_{уд} (^{137}\text{Cs})$ выявлена в пробах из Лужского района ЛО при минимальном содержании ^{90}Sr в ЛРС *H. perforatum*. Минимум $A_{уд} (^{137}\text{Cs})$ отмечен для ЛРС *H. perforatum*, собранного на высокотравном лугу близ д. Ивановское, ($A_{уд}$ радиоцезия в почве данного локалитета составила 72.8 ± 7.3) и на территории памятника природы «Истоки реки Ордеж в урочище Донцо», где зверобой произрастает на карбонатных почвах ($A_{уд}$ радиоцезия в почве от 42.2 до 55.7 Бк/кг). В ЛРС *H. perforatum* выявлен более широкий диапазон значений $A_{уд}$ стронция – 90 (0.55–18.9 Бк/кг), по сравнению с $A_{уд}$ цезия – 137 (10.4–16.1). Для *H. maculatum* $A_{уд} (^{137}\text{Cs})$ варьировала в пределах 13.6–15.4 Бк/кг, а $A_{уд} (^{90}\text{Sr})$ в диапазоне 8.6–13.1 Бк/кг. Достоверных межвидовых различий в аккумуляции радионуклидов не выявлено. Коэффициент накопления (КН) радиоцезия изменялся в пределах 0.13–5.5, что говорит о слабой способности накапливать ^{137}Cs . Нормирование ЕРН пока не предусмотрено законодательством РФ. В большинстве проб почвы ЛО $A_{уд}$ ЕРН оказалась выше среднемировых значений. В работе Н. А. Дьяковой (Дьякова, 2022) есть обоснованное предложение нормировать эффективную активность ($A_{эфф}$) ЕРН с предельно допустимым значением 165 Бк/кг. Если принять во внимание это предложение, то все исследованные пробы ЛРС зверобоя удовлетворяют данному требованию.

ЛИТЕРАТУРА

- Алентьева, О. Г. Изучение накопления радионуклидов в лекарственном растительном сырье растений различных морфологических групп / О. Г. Алентьева, Е. А. Коняева, Комиссарова А. А. // Вопросы биологической, медицинской, фармацевтической химии. – 2018. – Т. 21. – № 2. – С. 23–27.
- Воронецкая, А. Н. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr лекарственными растениями / А. Н. Воронежская // Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века: материалы 21-й международной научной конференции, 20–21 мая 2021 г. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – Ч. 1. – С. 236–238.
- Эчишвили, Э. Э. Зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.) в культуре на европейском Северо-Востоке / Э. Э. Эчишвили, Н. В. Портнягина, В. В. Пунегов, К.С. Зайнуллина; отв. ред. Г. Н. Табаленкова. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2014. – 120 с.
- Дьякова, Н. А. Теоретическое и экспериментальное обоснование эколого-фармакогностической оценки качества лекарственного растительного сырья (на примере Воронежской области): автореф. дис. ... д. фарм. н. / Дьякова Нина Алексеевна. – М., 2022. – 21 с.
- Корсун, Е. В. Радионуклиды в лекарственных растениях и грибах (обзор) / Е. В. Корсун, К. Ф. Саевич, М. А. Авхукова // Практическая фитотерапия. – 2011. – № 3–4. – С. 42–52.

ВЛИЯНИЕ АКТИВАЦИИ ГЕНА DICER-1 В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Н. Р. Пакшина*, Д. В. Яковлева*, Е. Н. Прошкина*, А. А. Москалев***

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: pakshina.n.r@ib.komisc.ru

**Институт молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН

МикроРНК принимают участие в широком спектре биологических процессов, включая регуляцию продолжительности жизни и старение (Kinser, 2020). Данные регуляторные молекулы подавляют экспрессию генов посредством ингибирования трансляции и деградации матричных РНК. Также есть данные, что микроРНК могут проникать в ядро, непосредственно связываться с регуляторными элементами генома и как подавлять, так и стимулировать генную экспрессию (Catalanotto et al., 2016).

Ключевую роль в биогенезе микроРНК играют белки Dicer. Нарушение их функций может приводить к преждевременному старению модельных организмов и развитию различных заболеваний у человека (Vergani-Junior et al., 2021). В исследованиях на нематодах показано, что сверхэкспрессия Dicer повышает устойчивость к стрессу, вызванному паракватом (Mori et al., 2012), а дефицит Dicer снижает продолжительность жизни (De Cauwer et al., 2022). Однако в работе на дрозофиле были показаны противоположные эффекты (Sanchez et al., 2023).

Целью нашего исследования было изучение влияния сверхэкспрессии гена Dicer-1 в нервной системе на продолжительность жизни и стрессоустойчивость *Drosophila melanogaster*.

Для получения экспериментальных особей производили скрещивание самок трансгенной линии с UAS-конструкцией с дополнительной копией гена Dicer-1 и самцов с мифепристон-активируемым драйвером GAL4, специфичным для нервной системы. В данной работе мы выбрали для активации изучаемого гена нервную систему, так как она играет ключевую роль в регуляции продолжительности жизни. Мы проверили активность изучаемого гена Dicer-1 в головах дрозофил с помощью метода ПЦР. У самцов активация Dicer-1 была увеличена в 10 раз ($p < 0.05$, U-критерий Манна-Уитни), а у самок в 4 раза ($p < 0.05$).

Для всех экспериментов были отобраны полученные в результате скрещивания виргинные самки и самцы, далее их

помещали в пробирки со средой, на поверхность которой наносили 30 мкл мифепристона для сверхэкспрессии, контрольные особи содержались в среде с этанолом. Дрозофил, у которых оценивали продолжительность жизни и активность, содержали в климатических камерах при 25 °С, 12-часовом режиме освещения, 60% влажности воздуха. Изучение двигательной активности проводили раз в неделю в течение 24 ч на протяжении 10 недель. Также оценивали устойчивость к 4 неблагоприятным факторам: действию острого гамма-облучения (700 Гр), прооксиданту параквату (20 ммоль/л), голоданию и гипертермии (35 °С). В экспериментах использовали мух в возрасте 14 суток. При оценке устойчивости к параквату, гипертермии и голоданию дрозофил содержали в стресс-индуцируемых условиях до конца жизни. В эксперименте с облучением мух подвергали действию гамма-излучения в дозе 700 Гр и далее оценивали выживаемость.

Сверхэкспрессия *Dicer-1* в нервной системе не вызывала статистически значимых изменений продолжительности жизни у самцов. У самок наблюдали воспроизводимое увеличение медианной продолжительности жизни на 9% ($p < 0.001$, критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) и возраста 90% смертности на 10% ($p < 0.001$, критерий Ванг-Аллисона). При изучении возрастной динамики среднесуточной двигательной активности не выявлено статистически значимого влияния сверхактивации *Dicer-1*.

У самцов нейрональная активация *Dicer-1* повысила медианную и максимальную выживаемость на 26% ($p < 0.0001$) и 25% ($p < 0.0001$), соответственно. У самок эффект на медианную выживаемость был также выражен и составил 41% ($p < 0.01$). Сверхактивация *Dicer-1* повысила устойчивость самцов к воздействию прооксиданта параквата на 33% ($p < 0.001$), однако у самок не наблюдали статистически значимых изменений. При голодании, напротив, происходило снижение медианной выживаемости, как у самцов, так и у самок на 13–15% ($p < 0.01$). Устойчивость к гипертермии у дрозофил со сверхактивацией *Dicer-1* и без сверхэкспрессии статистически значимо не отличалась.

Чтобы оценить влияние сверхэкспрессии *Dicer-1* на сигнальные пути, связанные с регуляцией продолжительности и старения, оценили изменение транскрипционной активности 22 генов, которые ранее были описаны как гены долгожительства у *D. melanogaster* (Proshkina, 2015). У самцов была повышена экспрессия генов *Sirt1*, *bsk* (ортолог JNK), *tgo* (ортолог HIF-1A), отвечающих за регуляцию ответа на стресс, генов *Gadd45* и *Хрс*, влияющих на репарацию ДНК, и *Azot*, ответственного за удаление сенесцентных клеток, в 2.0–3.8 раза ($p < 0.05$). У самок наблюдали активацию генов *foxo*, *Hsf*, *Хрс*, связанных со стресс-ответом, и гена регуляции метаболизма *Tsc* в 1.5–3.2 раза ($p < 0.05$).

Таким образом, на основании полученных результатов были сделаны выводы: (1) сверхэкспрессия гена Dicer-1 в нервной системе увеличивала медианную и максимальную продолжительности жизни у самок на 9–10% ($p < 0.001$), но не у самцов; (2) Нейрональная активация Dicer-1 повысила выживаемость дрозофил при гамма-облучении и действии прооксиданта параквата на 25–41% ($p < 0.01$). В то же время сверхэкспрессия Dicer-1 не оказала статистически значимого влияния на устойчивость к гипертермии и снижала выживаемость при голодании; (3) Благоприятные эффекты сверхэкспрессии Dicer-1 сопровождалась активацией генов долгожительства Sirt1, bsk (ортолог JNK), foxo, tgo (ортолог HIF-1A), Gadd45, Xpc, Hsf, Azot, Tsc1 в 1.5–3.8 раза ($p < 0.05$).

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геронпротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» N 122040600022-1.

ЛИТЕРАТУРА

Catalanotto, C. MicroRNA in Control of Gene Expression: An Overview of Nuclear Functions / C. Catalanotto, C. Cogoni, G. Zardo // Int J Mol Sci. – 2016. – Vol. 17. – N 10. – P. 1712.

De Cauwer, A. Dicer-1 deficient mice exhibit premature aging and metabolic perturbations in adipocytes / A. De Cauwer, T. Loustau, W. Erne, A. Pichot, A. Molitor, T. Stemmelen, R. Carapito, G. Orend, S. Bahram, P. Georgel // Iscience. – 2022. – Vol. 25. – N 10. – P. 105149.

Kinser, H.E. MicroRNAs as modulators of longevity and the aging process / H. E. Kinser, Z. Pincus // Hum Genet. – 2020. – Vol. 139. – N 3. – P. 291–308.

Mori, M.A. Role of microRNA processing in adipose tissue in stress defense and longevity / M.A. Mori, P. Raghavan, T. Thomou, J. Boucher, S. Robida-Stubbs, Y. Macotela, S. J. Russell, J. L. Kirkland, T. K. Blackwell, C. R. Kahn // Cell Metab. – 2012. – Vol. 16. – N. 3. – P. 336–347.

Proshkina, E.N. Basic mechanisms of longevity: A case study of Drosophila pro-longevity genes / E.N. Proshkina, M.V. Shaposhnikov, A. F. Sadritdinova, A.V. Kudryavtseva, A.A.Moskalev // Ageing Research Reviews. – 2015. – Vol. 24. – P. 218–231.

Sanchez, J. A. FOXO-mediated repression of Dicer1 regulates metabolism, stress resistance, and longevity in Drosophila / J. A. Sanchez, M. C. Ingaramo, M. P. Gerve, M. G. Thomas, G. L. Boccaccio, A. Dekanty // Proc Natl Acad Sci U S A. – 2023. – Vol. 120. – N 15. – P. e2216539120.

Vergani-Junior, C.A. DICER: structure, function, and regulation / C.A. Vergani-Junior, G. Tonon-da-Silva, M.D. Inan, M.A. Mori // Biophys Rev. – 2021. – Vol. 13. – N 6. – P. 1081–1090.

ЧЕРНОПЛОДНАЯ РЯБИНА (*SORBARONIA MITSCHURINII*) КАК ИСТОЧНИК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ГЕРОПРОТЕКТОРОВ

Е. Ю. Платонова, М. В. Шапошников, А. А. Москалев

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук
E-mail: Dega37@yandex.ru

Замедлить старение и продлить здоровое (физическое и ментальное) состояние организма на более длительный срок – основная задача геропротекторов. Ранее было выявлено, что плоды, листья и стебли черноплодной рябины обладают высоким фенольным профилем (фенолы и флавоноиды), а также проявляют антиоксидантный, цитотоксический, антимицробный эффект *in vitro* (Cvetanović, 2018). Однако эффекты экстрактов черноплодной рябины на уровне целого организма изучены слабо (Cvetanović, 2018; Platonova, 2021; Platonova, 2022).

Поэтому, целью нашей работы являлось изучение эффектов экстрактов плодов (ABE) и листьев (SLE) черноплодной рябины (*Sorbaronia mitschurinii*), как источников потенциальных геропротекторов на модели *Drosophila melanogaster*. Для реализации цели были поставлены следующие задачи: оценить воздействие этанольных экстрактов черноплодной рябины на продолжительность жизни, стрессоустойчивость и двигательную активность *D. melanogaster*.

Для выполнения экспериментов использовали линию дикого типа *Canton-S* (#64349, Блумингтон, США). Стандартные условия содержания (25 °C и относительной влажности 60% при режиме освещения 12 ч свет : 12 ч темнота) были обеспечены за счет климатической камеры Binder KBF720-ICH (Binder, Германия). Растительный материал (плоды и листья) был собран в летний период (август 2020) в Ботаническом саду (Научная коллекция живых растений, № 507428) ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, Республика Коми). Плоды были заморожены при -20 °C, а листья были высушены и упакованы в крафтовую бумагу для дальнейшего приготовления экстракта. Далее производили экстракцию антоцианов из плодов и фенольных соединений из листьев черноплодной рябины. Экспериментальные мухи обитали в пробирках содержащих питательную среду с нанесенным поверх 30 мкл ABE в концентрациях 0.01, 0.1, 1, 2.5, 5 и 10 мг/мл или SLE в концентрациях 0.01, 0.1, 1 и 5 мг/мл, а на поверхность контрольных пробирок наносили 30 мкл 96% этанола. Для анализа продолжительности жизни, стрессоустойчивости, двигатель-

ной активности имаго разделяли по полу, на каждый вариант эксперимента отбирали по 150 особей. Эксперименты проводились в 2–3 повторностях. Рассчитывались медианная и максимальная (возраст 90% смертности особей) продолжительность жизни. Экспериментальных мух обрабатывали экстрактами в соответствии с предложенными схемами (на протяжении всей жизни, 1–2 недели и 4–5 недели жизни). Перед и после обработки экстрактами экспериментальных мух содержали на контрольной среде.

В результате было обнаружено достоверное снижение медианной и максимальной ПЖ при добавлении АВЕ на протяжении всей жизни и на 1–2 неделе жизни у особей обоих полов плодовых мушек. Добавление АВЕ на 4–5 неделе жизни оказало наибольший положительный эффект на медианную (на 5%) и максимальную (до 9%) ПЖ самцов. У самок, при добавлении АВЕ на 4–5 неделе жизни, была увеличена медианная на 5% и максимальная (3%) ПЖ. При применении АВЕ с 4 недели и до конца жизни, было вызвано достоверное снижение медианной (на 7% при 0.1 мг/мл) и максимальной (до 2%) ПЖ у самцов. При обработке АВЕ с 4 недели и до конца жизни, у самок выявлено увеличение медианной ПЖ на 5% при 1 мг/мл, но 0.01 мг/мл снизил медиану на 3%. Максимальная ПЖ у самок была увеличена на 4% при 1 мг/мл, а 0.01 мг/мл АВЕ снизил ее на 3%. Тест ANOVA не выявил статистически значимой разницы между контрольными и обработанными АВЕ мухами ($p > 0.05$), также следует отметить, что вредного влияния АВЕ на двигательную активность как показатель здоровья у мух обоих полов обнаружено не было. Выявлено, что обработка особей *D. melanogaster* экстрактом АВЕ привела к увеличению устойчивости к окислительному стрессу (самцы: 1 мг/мл, возраст 33 дня; самки: 5 мг/мл, возраст 33 дня), голоданию (самки: 5 мг/мл, 14 сут) и гипертермии (самцы: 0.1 и 5 мг/мл, возраст 14 сут; самки: 0.1 и 5 мг/мл, возраст 14 сут). Однако обработка АВЕ в концентрации 1 мг/мл приводила к снижению устойчивости к голоданию у самцов в возрасте 14 сут и при всех изученных концентрациях - снижению устойчивости к гипертермии у самок в возрасте 33 сут.

В исследовании экстракта листьев наблюдалась схожая ситуация, в которой применение SLE на протяжении всей жизни, на 1–2 и на 4–5 неделе жизни вызывал достоверное снижение медианной и максимальное продолжительности жизни у особей обоих полов плодовых мушек. При применении экстракта с 4 недели и до конца жизни было обнаружено достоверное увеличение медианной ПЖ на 2% (0.1 и 0.01 мг/мл) у самцов, при этом 5 мг/мл снижал медиану на 2%, но на максимальную ПЖ самцов SLE оказывал негативный эффект до 7% (5 мг/мл). У самок SLE добавленный с 4 недели и применяемый до конца жизни достоверно снизил медианную ПЖ на 5% (0.01 мг/мл), но 0.1 мг/

мл увеличил на 2%. Кроме того, максимальная ПЖ у самок была снижена на 1%, при применении SLE с 4 недели и до конца жизни. У самцов SLE в концентрации 5 мг/мл увеличивает медианную выживаемость при голоде на 15%, но уменьшает этот показатель при гипертермии на 12%. Обработка SLE в концентрации 5 мг/мл не оказала статистически значимого влияния на показатели устойчивости к различным стрессам у самок. Апостериорный анализ показал влияние SLE на двигательную активность самцов и самок в концентрации 5 мг/мл и 0.01 и 1 мг/мл.

В результате выявлено, что кратковременное применение ABE оказывает наибольшее геропротекторное действие на продолжительность жизни особей обоих полов плодовых мушек, а также, повышает устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды (окислительный стресс, голодание и гипертермия). При этом SLE проявляет общий негативный эффект на медианную и максимальную продолжительность жизни *D. melanogaster* одновременно, оказывая положительный эффект в условиях голодания за счет эффекта гормезиса.

Положительные свойства черноплодной рябины могут быть использованы при создании инновационных фармакологических препаратов, которые после прохождения доклинических и клинических испытаний будут способны повысить продолжительность и качество жизни человека.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели *Drosophila melanogaster*» № 122040600022-1.*

ЛИТЕРАТУРА

Cvetanović, A. Comparative in vitro studies of the biological potential and chemical composition of stems, leaves and berries *Aronia melanocarpa*'s extracts obtained by subcritical water extraction / A. Cvetanović, G. Zengin, Z. Zeković, J. Švarc-Gajić, S. Ražić, A. Damjanović, P. Mašković, M. Mitić // Food and Chemical Toxicology. – 2018. – Vol. 121. – P. 458–66.

Platonova, E. Y. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) extracts in terms of geroprotector criteria / E. Y. Platonova, M. V. Shaposhnikov, H.-Y. Lee, J.-H. Lee, K.-J. Min, A. Moskalev // Trends in Food Science & Technology. – 2021. – Vol. 114. – P. 570–84.

Platonova, E. Y. Geroprotective effects of *x*Sorbaronia mitschurinii fruit extract on *Drosophila melanogaster* / E. Y. Platonova, N. V. Zemskaya, M. V. Shaposhnikov, D. A. Golubev, D. V. Kukuman, N. R. Pakshina, N. S. Ulyasheva, V. V. Punegov, S. A. Patov, A. Moskalev // Journal of Berry Research. – 2022. – Vol. 12, N 1. – P. 73–92.

СВЕРХЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ *SOD3* И *GPX3* ПРИВОДИТ К ПОВЫШЕНИЮ КЛЕТОЧНОЙ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ, НЕ ПОВЫШАЯ СКОРОСТЬ ПРОЛИФЕРАЦИИ И МИГРАЦИИ КЛЕТОК

**Е. Е. Расова*, М. М. Тавлеева*, А. В. Рыбак*, Е. С. Белых*,
Л. М. Сенча**, И. В. Балалаева**, И. О. Велегжанинов***

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

**Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского
E-mail: rasova@ib.komisc.ru

Активные формы кислорода (АФК) являются неотъемлемой частью физиологических процессов в клетке, однако их избыток приводит к окислительному стрессу, что провоцирует ряд патологических состояний. Одной из важных задач биомедицины является разработка методов регуляции устойчивости клеток к окислительному стрессу. Транскрипционная регуляция клеточной стрессоустойчивости с помощью технологии CRISPRa – это перспективный подход, позволяющий повышать экспрессию генов в заданных комбинациях. Из всего многообразия генов антиоксидантной защиты, эффекты сверхэкспрессии которых были проанализированы нами ранее (Tavleeva et al., 2023), гены *SOD3* и *GPX3* были определены нами как наиболее перспективные мишени для одновременной сверхэкспрессии по ряду причин. Во-первых, известно, что раздельная сверхактивация данных генов повышала клеточную стрессоустойчивость в разных экспериментальных системах. Во-вторых, данные гены преимущественно выступали в роли онкосупрессоров. В-третьих, данных об эффектах одновременной сверхактивации *SOD3* и *GPX3*, которая, предположительно, более эффективна и безопасна с позиции предотвращения дисбаланса H_2O_2 в клетке, на сегодняшний день в литературе нет. Целью настоящего исследования было изучение эффектов сверхактивации генов *SOD3* и *GPX3* на устойчивость клеток НЕК293Т и HeLa к окислительному стрессу, индуцируемому паракватом и воздействием гамма-излучения.

Транзистентная сверхактивация генов в клетках НЕК293Т проводилась с помощью котрансфекции плазмид, кодирующих активатор транскрипции dCas9-VPH и гидовые РНК к генам интереса. В эксперименте использовалась также трансгенная линия клеток HeLa со стабильной экспрессией активатора транскрипции dCas9-VPH (HeLa_VPH). Последние были получены путём многократной сортировки клеток с высоким уровнем

экспрессии конструкции (по сигналу GFP), трансдуцированной лентивирусными частицами.

Каждый вариант сверхэкспрессии осуществлялся путем множественного рассаживания клеток в среду с трансфицирующими агентами по протоколу обратной трансфекции (по 3–8 микротрансфекций на каждый вариант сверхэкспрессии). Далее суспензии клеток пересаживали в разной плотности для воздействия паракватом или облучением (по 12–24 повторности каждой микротрансфекции на дозу облучения / концентрацию параквата). Жизнеспособность и уровень пролиферации клеток оценивали с помощью флуориметрического анализа цитотоксичности в микрокультурах (FMCA) (Lindhagen et al., 2008). Скорость миграции клеток оценивали по методике, описанной в (Liang et al., 2007).

Было обнаружено, что клетки HEK293T с одновременной сверхэкспрессией SOD3 и GPX3 (уровень экспрессии генов был выше контрольного в 55 и 25 раз соответственно) оказались более резистентными к γ -облучению и воздействию параквата (рис.). Тот же эффект был частично подтвержден на клеточной линии HeLa_VPH (рис.), где при облучении в дозе 3 Гр выживаемость клеток со сверхэкспрессией увеличивалась (экспрессия генов при этом была для SOD3 – 7, для GPX3 – 110 относительно контроля). В то же время на основе FMCA был оценен уровень пролиферации клеток на фоне сверхэкспрессии, который достоверно снижался относительно контроля в обеих культурах клеток (рис.). Кроме того, анализ миграционной активности показал, что одновременное повышение экспрессии SOD3 и GPX3 в HEK293T не стимулировало, а в случае с HeLa приводило к снижению скорости миграции клеток (данные не представлены).

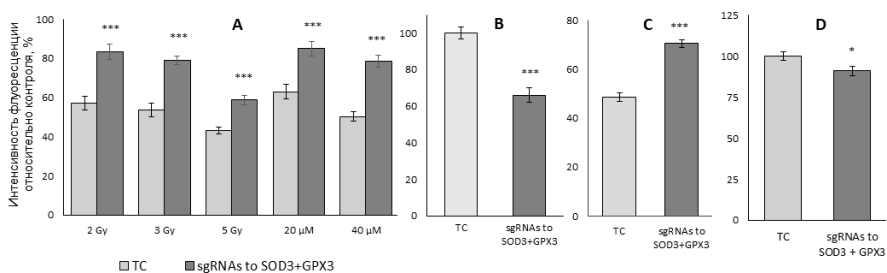


Рис. А – выживаемость клеток HEK293T с/без сверхэкспрессии генов SOD3 и GPX3 при гамма-облучении и воздействии паракватом, оцененная с помощью FMCA. С – выживаемость клеток HeLa_VPH с/без сверхэкспрессии генов SOD3 и GPX3 при облучении в дозе 3 Гр, оцененная с помощью FMCA. В, D – уровень пролиферации не подвергшихся воздействию клеток HEK293T (В) и HeLa_VPH (D) со сверхэкспрессией генов SOD3 и GPX3 относительно контроля, оцененный с помощью FMCA. «ТС» – трансфекционный контроль. * – отличия от «ТС» достоверны при $p < 0.05$, *** – при $p < 0.001$ (t-тест Стьюдента).

Таким образом, одновременное повышение уровня экспрессии генов *SOD3* и *GPX3* в клетках человека увеличивает их устойчивость к окислительному стрессу, индуцируемому паракватом и гамма-излучением, что было показано на клеточной линии HEK293T и частично подтверждено на HeLa. В то же время, без воздействия радиацией или паракватом на клетки, повышение экспрессии *SOD3* и *GPX3* достоверно замедляет темпы пролиферации в обеих клеточных линиях, а также приводит к снижению скорости миграции клеток HeLa. Полученные результаты могут говорить о целесообразности выбора данных генов как эффективных и относительно безопасных мишеней транскрипционной регуляции клеточной стрессоустойчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственное задание № 122040600024-5).

ЛИТЕРАТУРА

Tavleeva, M. M. Effects of antioxidant gene overexpression on stress resistance and malignization *in vitro* and *in vivo*: a review / M. M. Tavleeva, E. S. Belykh, A. V. Rybak, E. E. Rasova, A. A. Chernykh, Z. B. Ismailov, I. O. Velegzhaninov // Antioxidants. – 2022. – Vol. 11. – N 2316. – P. 1–25.

Liang, C.C. In vitro scratch assay: a convenient and inexpensive method for analysis of cell migration *in vitro* / C. C. Liang, A. Park, J. L. Guan // Nature Protocols. – 2007. – N 2. – P. 329–333.

Lindhagen, E. The fluorometric microculture cytotoxicity assay / E. Lindhagen, P. Nygren, R. Larsson // Nature Protocols. – 2008. – N 3. – P. 1364–1369.

АНАЛИЗ СООБЩЕСТВ МИКРООРГАНИЗМОВ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ: ОТ РАЗНООБРАЗИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ К АДАПТАЦИИ

А. В. Рыбак*, Т. А. Майстренко*, М. М. Тавлеева*,
Е. Е. Расова*, Е. С. Белых*, И. О. Велегжанинов***

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: canewa.anuta@yandex.ru

**Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

Почва характеризуется богатейшим разнообразием микроорганизмов (Sokol et al., 2022), деятельность которых является основой стабильности функционирования почвы (Mukhtar et al., 2023). Цель работы заключается в изучении влияния загрязнения почвы тяжелыми естественными радионуклидами, а также изменения физико-химических факторов в результате смены сезонов года на таксономический и функциональный состав сообществ бактерий и грибов на основе метагеномного анализа. В рамках конференции представлены результаты, для получения которых необходимо было решить следующие задачи: 1) обобщить имеющиеся в настоящий момент в литературе данные о трансформации сообществ бактерий, населяющих радиоактивно загрязненные почвы, и выявить механизмы их адаптации; 2) изучить сезонные изменения радиационного фона, физико-химических показателей почвы и определить удельные активности ^{226}Ra и ^{238}U ; 3) подобрать оптимальные условия для выделения метагеномной ДНК из почвы.

Обзор опубликованных с 1996 по 2024 гг. работ свидетельствует, что таксономическое разнообразие микробиома почв, как правило, снижается при высоком уровне радиационного воздействия, также происходит дифференциация структуры сообщества с уменьшением доли чувствительных видов/родов и увеличением доли устойчивых групп. На рисунке 1 схематически представлены результаты обобщения, отражающие изменения таксономической структуры сообществ бактерий почвы при радиационном воздействии. Систематический анализ также показал, что преимущество в условиях радиоактивного загрязнения получают бактерии: 1) синтезирующие антиоксидантные ферменты и соединения, 2) активно участвующие в окислительно-восстановительных процессах, 3) устойчивые к металлам и антибиотикам, 4) обладающие термофильностью и эффективной репарацией ДНК, 4) устойчивые к засолению.

Отбор почвы на химический анализ и метагеномное секвенирование осуществляли летом (август) и осенью (октябрь) 2023 г. на двух импактных и двух соответствующих им фоновых участках (Ухтинский район, Республика Коми). Импактные участки различаются типом растительности, почвы и радиоактивного загрязнения. Для метагеномного анализа образцы отбирали с 8–10 почвенных кубов на глубине 7–10 см на каждом участке. Образцы фиксировали в жидком азоте сразу же после сбора и хранили при $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ до анализа. Радиационный γ -фон измеряли дозиметром ДКГ02У «Арбитр» (ООО НПП «Доза», Россия) на высоте 1 м от поверхности почвы. Удельные активности ^{226}Ra и ^{238}U определяли стандартными методами в лаборатории миграции радионуклидов и радиохимии ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Значение pH солевой вытяжки почвы определяли 1М КСl (ГОСТ 26483-85), а влажность – термостатно-весовым методом (ГОСТ 28268-89). Углерод ($\text{C}_{\text{общ}}$) и азот ($\text{N}_{\text{общ}}$) анализировали методом газовой хроматографии в лаборатории «Экоаналит» ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

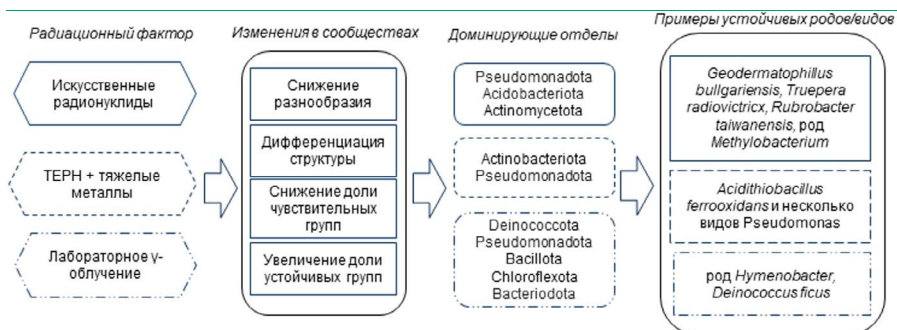


Рис. Схема изменений в сообществах почвенных бактерий в условиях воздействия ионизирующего излучения, составленная на основании теоретического обобщения опубликованных в литературе данных.

Показано, что уровень γ -фона сильно варьировал на импактных участках, что указывает на высокую пространственную гетерогенность радиоактивного загрязнения. Средние значения γ -фона для импактных участков составили 4.14–5.25, на фоновых участках – 0.11–0.20 мкЗв/ч. Значение pH почвы на загрязненных участках колебалось в диапазоне 5.4–6.5, на фоновых участках – 4.2–5.4. Значения γ -фона и pH почвы на загрязненных участках статистически значимо выше фоновых значений ($p < 0.001$). На всех участках наблюдались сезонные изменения влажности почвы: влажность оказалась статистически значимо выше в октябре, чем в августе ($p < 0.01$). Усредненные значения удельных активностей ^{226}Ra и ^{238}U на импактных участках составили

37–113 и 0.024–6.3, на фоновых участках – 0.19–1.3 и 0.035–0.082 кБк/кг соответственно. Содержание $C_{\text{общ}}$ в почвах двух импактных участков, $N_{\text{общ}}$ на одном из загрязненных участков оказалось статистически значимо выше, чем на соответствующих контролях ($p < 0.05$). Сезонных изменений в содержании $C_{\text{общ}}$ не зафиксировано, однако содержание $N_{\text{общ}}$ было статистически значимо выше в октябре по сравнению со значением в августе ($p < 0.01$).

Для оптимизации протокола выделения метагеномной ДНК мы использовали два набора: Meta Soil (Raissol) на магнитных частицах и HiPure Soil DNA Kit (Magen) на колонках с силикагелевой мембраной. После выделения ДНК растворы имели коричневый оттенок, что указывает на наличие примесей гуминовых кислот, которых оказалось меньше при выделении набором на колонках с силикагелевой мембраной. Проверка степени чистоты ДНК методом ПЦР показала, что требуется дополнительная очистка образцов (набор ColGen, Синтол, Россия). В настоящий момент подготовлено и отправлено на метагеномное секвенирование ампликонов 16S и ITS 20 образцов метагеномной ДНК (21–174 нг/мкл).

Таким образом, систематический анализ результатов опубликованных исследований свидетельствует, что преимущество в условиях радиоактивного загрязнения получают бактерии, характеризующиеся широким спектром свойств, обеспечивающих их устойчивость. По результатам экспериментальной работы выявлены сезонные изменения физико-химических показателей почвы (влажность, $N_{\text{общ}}$) и оптимизирована методика для выделения метагеномной ДНК из образцов почвы.

Исследование поддержано грантом РФФ № 23-74-01125.

ЛИТЕРАТУРА

Mukhtar, H. Soil Microbiome Feedback to Climate Change and Options for Mitigation / H. Mukhtar, R.F. Wunderlich, A. Muzaffar, A. Ansari, O. V. Shipin, T.N.-D. Cao, Y.-P. Lin // Science of The Total Environment. – 2023. – Vol. 882. – Article number: 163412.

Sokol, N. W. Life and death in the soil microbiome: how ecological processes influence biogeochemistry / N. W. Sokol, E. Slessarev, G. L. Marschmann, A. Nicolas, S. J. Blazewicz, E. I. Brodie, M. K. Firestone, M. M. Foley, R. Hestrin, B. A. Hungate, B. J. Koch, B.W. Stone, M. B. Sullivan, O. Zablocki, LLNL Soil Microbiome Consortium, J. Perr-Ridge // Nature Reviews. Microbiology. – 2022. – Vol. 20. – N. 5. – P. 415–430.

ФОТОРЕЦЕПТОРЫ И ТЕРМОРЕЦЕПТОРЫ *DROSOPHILA MELANOGASTER* КАК ЭВОЛЮЦИОННО-КОНСЕРВАТИВНЫЕ МИШЕНИ ГЕРОПРОТЕКТОРНЫХ ИНТЕРВЕНЦИЙ

И. А. Соловьёв*, Е. В. Щеголева**, Л. А. Коваль**,
М. В. Шапошников**, А. А. Москалев**

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

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

E-mail: soloviev@ib.komisc.ru

Системы фото- и терморцепции похожи по способу организации и являются одними из наиболее древних структур, участвующих в адаптации организмов к условиям окружающей среды. Таким образом, они первичны по отношению к молекулярным механизмам, детерминирующим продолжительность жизни многоклеточных, ведь они существовали еще мире прокариот. Существуют теоретические основания полагать, что с возрастом ослабление циркадного ритма (ведущее к снижению качества жизни) можно нивелировать, экспонируя организм умеренно высоким температурам (выступающим в роли цайтгебера), тем самым вызывая гормезис (Соловьёв и др., 2018). На данном этапе исследований известно, что кондиционная сверхэкспрессия и препараты-хронобиотики, связывающие фоторецептор-криптохром, способны продлевать жизнь плодовой мухи. Но также известно, что множественные синхронизирующие циркадные сигналы с возрастом могут порождать десинхроноз, в свете упомянутых фактов видится рациональным отключение дисфункциональной, в возрастном аспекте, циркадной фоторецепторной молекулярной машины, которая препятствует проявлению синхронизирующего и гормонального действия термического стимула. Цель настоящей работы: установить связующие звенья молекулярно-генетических механизмов термического и фото(хроно)гормезиса, провести анализа способности генов термо- и фоторецепторов влиять на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster*. В число задач входит: 1) подсчет продолжительности жизни особей, несущих мутации в генах *ninaE*, *Rh7*, *cry*, кодирующих как термо, так и фоторецепторы; 2) анализ продолжительности жизни после непродолжительного термического воздействия (29 °С в течение двух часов в неделю, утром для перезапуска осциллятора); 3) проверка устойчивости циркадного ритма двигательной активности у

мутантов *Drosophila* (по генам *dTrpa*, *ninaE*, *Rh7*, *cry*) после кратковременного термического воздействия.

Для постановки экспериментов использовали лабораторные линии *Drosophila melanogaster*, несущие гены *NinaE*[17] и *Rh7*[1], *cry*[b], популяции были предварительно выровнены линией *w*[1118] (шестикратно). Все эксперименты для мух с мутациями фоторецепторов и трансдукторов проводили на потомках скрещивания от самок *NinaE*[17] и самцов *Rh7*[1], *cry*[b].

Родительские линии были использованы в качестве контроля, а полученные тройные мутанты по генам фоторецепторов (далее *NinaE*[17]/*Rh7*[1],*cry*[b]) – в качестве экспериментальных особей. Контрольную когорту мух всю жизнь содержали при температуре 25 °С. Опытную группу помещали один раз в неделю в условия при температуре 29 °С на два часа, остальное время особи жили при 25 °С. Всех мух содержали в климатической камере Binder KBF720-ICH (Binder, Германия) при относительной влажности 60%, цикле свет/темнота 12:12 ч, на стандартной пищевой среде (1 л воды: 7 г агара, 8 г дрожжей, 30 г сахара, 30 г манной крупы, 5 мл 50% пропионовой кислоты и 5 мл 10% нипагина. Все эксперименты проводили в трех независимых повторностях (400–500 особей на вариант). Мух пересаживали на свежую среду два раза в неделю. Мертвых мух регистрировали ежедневно в будни. Рассчитывали медиану продолжительности жизни. Достоверность различий оценивали с помощью критерия Гехана-Бреслоу-Вилкоксона в онлайн-приложении для анализа выживаемости OASIS 2 (Han et al., 2016).

Самцы-мутанты по *NinaE*[17] обнаруживали 29% снижение медианной продолжительности жизни относительно *w*[1118] ($p < 0.05$), двойные мутанты *Rh7*[1],*cry*[b] не демонстрировали увеличения ПЖ относительно *w*[1118], в то время как самцы с генотипом *NinaE*[17]/*Rh7*[1],*cry*[b] (тройная гетерозигота) имели медианную ПЖ на 5% больше, чем *w*[1118] ($p < 0.05$). Температурный гормезис (+4.4%, $p < 0.05$) отмечали только у мутантов *NinaE*[17]/*Rh7*[1],*cry*[b]. Медианная продолжительность жизни самок-мутантов по *NinaE*[17] статистически не отличалась от *w*[1118]. Самки-носительницы двух гомозиготных мутаций фоторецепторов *Rh7*[1],*cry*[b] имели медианную продолжительность жизни на 84% больше *w*[1118] ($p < 0.0001$), мультимутанты с двумя гомозиготными и тремя гетерозиготными мутациями *NinaE*[17]/*Rh7*[1],*cry*[b] обладали медианной ПЖ на 93% большей, чем особи линии *w*[1118] и на 3.6% превышающей таковую у линии с мутациями *Rh7*[1],*cry*[b]. Гормезис при умеренном тепловом воздействии не наблюдался у самок во при всех генотипах, кроме *NinaE*[17]/*Rh7*[1],*cry*[b] (табл.).

Таблица

Выживаемость особей *Drosophila melanogaster* с различными генотипами после умеренного теплового воздействия

Линии <i>Drosophila</i>	N	Перцентили смертности, сут			N	Перцентили смертности, сут		
		50%	75%	90%		50%	75%	90%
		самцы				самки		
<i>w[1118]</i>	463	65	71	74	434	44	63	71
<i>w[1118]</i> после ГТ	513	63	69	72	491	41*	59	67
<i>NinaE[17]</i>	423	45#	55	60	485	47	60	67
<i>NinaE[17]</i> после ГТ	380	42	53	58	423	47	65	72
<i>Rh7[1],cry[b]</i>	481	63	73	77	468	81^	87	88
<i>Rh7[1],cry[b]</i> после ГТ	456	63	70	78	500	80	84	87
<i>NinaE[17]/Rh7[1],cry[b]</i>	456	68+	76	82	450	85+^	90	96
<i>NinaE17/Rh7[1],cry[b]</i> после ГТ	444	71*	77	82	422	82*	86	93

Примечание: * $p < 0.05$, критерий Гехана-Бреслоу-Уилкоксона (сравнение когорты под воздействием легкого теплового шока и нормальной температуры); + $p < 0.05$, критерий Гехана-Бреслоу-Уилкоксона (мультимутанты по сравнению с генетическим контролем – *Rh7[1],cry[b]* и *NinaE[17]*); ^ $p < 0.0001$, критерий Гехана-Бреслоу-Уилкоксона (мультимутантный контроль против генетического контроля *w[1118]*); N – число особей в выборке.

Результаты исследования указывают на существование молекулярного механизма продления жизни *Drosophila melanogaster*, связанного с эволюционно-консервативными каскадами экстра- и интраокулярной фототрансдукции, в частности, с циркадными фоторецепторами, кодируемыми генами *Rh7* и *cry* (также их нижележащими интеракторами в каскаде реакций). Эффект экспозиции умеренному тепловому воздействию укладывается в логику теории о термической синхронизации циркадных ритмов, однако гормональные эффекты синхронизации температурой окружающей среды ранее не рассматривались с позиций хроногеронтологии, увеличение устойчивости циркадного ритма отмечалось лишь при содержании животных в условиях ограничения калорийности питательных сред (Katewa et al., 2016).

*Работа выполнена в рамках темы НИР «Генетические и функциональные исследования эффектов геронпротекторных интервенций на модели *Drosophila melanogaster*» № 1021062211102-1-1.6.8.*

ЛИТЕРАТУРА

Соловьёв, И. А. Генетические механизмы влияния света и фототрансдукции на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster* / И. А. Соловьёв, М. В. Шапошников, А. А. Москалев // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – Т. 22. – № 7. – С. 878–886.

Glaser, F. T. Temperature synchronization of the *Drosophila* circadian clock / F. T. Glaser, R. Stanewsky // *Current biology*. – 2005. – Vol. 15. – N 15. – P. 1352–1363.

Han, S. K. OASIS 2: online application for survival analysis 2 with features for the analysis of maximal lifespan and healthspan in aging research / S. K. Han, D. Lee, H. Lee, D Kim, H. G. Son, J. S. Yang, S. J. V. Lee, S. Kim // *Oncotarget*. – 2016. – Vol.7. – N 35. – P. 56147.

Katewa, S. D. Peripheral circadian clocks mediate dietary restriction-dependent changes in lifespan and fat metabolism in *Drosophila* / S. D. Katewa, K. Akagi, N. Bose, K. Rakshit, T. Camarella, X. Zheng, D. Hall, S. Davis, C. S. Nelson, R. B. Brem, A. Ramanathan, A. Sehgal, J. M. Giebultowicz, P. Kapahi // *Cell metabolism*. – 2016. – Vol. 23. – N 1. – P. 143–154.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ФЕНОТИПИРОВАНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ

И. А. Соловьёв*,**

*Клинический кардиологический диспансер

**Сыктывкарский государственный университет
им. Питирима Сорокина
E-mail: i@ilyasolovev.ru

В последние годы все большую значимость в медицинской повестке приобретают трансляционные технологии, под которыми, в частном случае трансляционной биоинформатики, следует понимать преобразование гигантских массивов данных и достижений фундаментальной науки в прикладные разработки практического здравоохранения. Одной из наиболее востребованных областей трансляционной биоинформатики является совокупность математических методов и информационных технологий генетического фенотипирования постгеномных наборов данных *in silico*. Болезни системы кровообращения лидируют в качестве причин смертности в России и мире, поэтому их ранняя диагностика и своевременное начало лечения выходит на первый план. Фенотипирование транскриптомов болезней системы кровообращения способно установить наиболее актуальные клинически фенотипы, пригодные для ранней диагностики.

Цель работы – осуществить генетическое фенотипирование транскриптомов пяти ключевых возрастных заболеваний системы кровообращения: хронической сердечной недостаточности (ХСН), гипертрофической кардиомиопатии (ГКМП, гипертоническая болезнь), коронарной болезни сердца (атеросклероз), хронической ишемии мозга (ХИМ, дисциркуляторной энцефалопатии), фибрилляции предсердий (ФП, мерцательная аритмия) и определить легкорегистрируемые физиологические/метаболические эндотипы патогенетических механизмов для ранней диагностики болезней системы кровообращения.

Материалы: датасеты транскриптомных исследований миокарда и головного мозга, экстрагированные из NCBI GEO datasets и разделов Supplementary статей (Alison et al., 2019; Ramiro et al., 2021; Chen et al., 2022; Chen et al., 2023; Wehrens et al., 2022) Алгоритм: 1) поиск транскриптомных исследований в PubMed (по запросу «название болезни» + «human transcriptome»); 2) экстракция списков дифференциально экспрессированных генов в органе-мишени (миокард или серое вещество мозга); 3) проведение анализа обогащения фенотипов (PSEA) по спискам

дифференциально экспрессированных генов с привлечением программных конвейеров EnrichR и PhenoExam.

Проведен биоинформатический анализ обогащения фенотипов по спискам дифференциально экспрессированных генов в миограде и веществе головного мозга. Набор генов КБС и набор генов ХСН имеют 1212 общих фенотипических терминов (из 3910 уникальных фенотипических терминов, обнаруженных GSEA), что дает коэффициент фенотипического перекрытия (RPOR) 0.31 ($p < 0.619048$). У них было 0 общих значимых фенотипических терминов (из 20 уникальных значимых фенотипических терминов в обоих случаях), что дает коэффициент фенотипического перекрытия (POR) равный 0 ($p < 0.047619$).

Анализ ассоциации релевантности фенотипов для наборов генов (т. е. сходны ли общие фенотипы по релевантности по количеству связанных с ними генов в каждом наборе генов) приводит к скорректированному квадрату R, равному 0.218 ($p < 0.0218548342020564$), что предполагает, что часть общих фенотипов схожа по значимости. Значения p были получены путем рандомизации 20 случайных наборов генов. Остальные заболевания, при сравнении наборов ассоциированных с транскриптомом фенотипов, также не обнаруживали такого высокого перекрытия и статистически значимого сходства фенотипических профилей.

Большинство изученных транскриптомов автоматически фенотипируются различными методами как ассоциированные, главным образом, с микроальбуминурией (фенотип по British Biobank $p < 0.01$) (табл.)

Таблица

Анализ обогащения по фенотипическим признакам из UK Biobank для набора дифференциально экспрессированных генов при ХСН

Заболевание	Графа Биобанка	Точный критерий Фишера, P
ХСН	Microalbumin in urine 30500 raw	0.004180
ГКМП (ГБ)		0.000000000000007
ХИМ		0.00000000001
ФП		0.00003179

Микроальбуминурия в мире и Российской Федерации, вероятно, – самый недооцененный фактор риска ССЗ, часто диагностически игнорируемый. Результаты проведенного генетического фенотипирования указывают на ценность альбуминурии, как предиктора ХСН, ДЭ, ГБ (в форме ГКМП) и ФП. Микроальбуминурия впервые ассоциирована с хронической ишемией мозга биоинформатическими методами фенотипирования, ранее

была установлена лишь статистическая связь между инсультами и альбуминурией (Tamura et al., 2022).

Обнаружен новый для клинической практики фенотип болезней системы кровообращения – микроальбуминурия. Переоценка его клинической значимости позволит выявлять группы риска по болезням системы кровообращения с максимально раннего возраста и начинать превентивные интервенции своевременно.

ЛИТЕРАТУРА

Chen, Y. Identification of crucial genes related to heart failure based on GEO database / Y. Chen, J. Xue, X. Yan, D. G. Fang, F. Li, X. Tian, P. Yan, Z. Feng // *BMC Cardiovascular Disorders*. – 2023. – Vol. 23. – N 1. – P. 376.

Cisterna, A. PhenoExam: gene set analyses through integration of different phenotype databases / A. Cisterna, A. González-Vidal, D. Ruiz, J. Ortiz, A. Gymez-Pascual, Z. Chen, M. Nalls, F. Faghri, J. Hardy, I. Dñez, P. Maietta, S. Blvarez, M. Ryten, J. A. Botna // *BMC bioinformatics*. – 2022. – Vol. 3. – N 1. – P. 567.

Kuleshov, M. V. Enrichr: a comprehensive gene set enrichment analysis web server 2016 update / M. V. Kuleshov, M. R. Jones, A. D. Rouillard, N. F. Fernandez, Q. Duan, Z. Wang, S. Koplev, S. L. Jenkins, K. M. Jagodnik, A. Lachmann, M. G. McDermott, C. D. Monteiro, G. W. Gundersen, A. Ma'ayan // *Nucleic acids research*. 2016. – Vol. 44. – N W1. – P. W90–W97.

Ramiro, L. Integrative multiomics analysis to characterize human brain ischemia / L. Ramiro, T. Garcia-Berrosco, F. Briansy, L. Goicoechea, A. Simats, V. Llombart, R. Gonzalo, A. Hainard, E. Martinez-Saez, F. Canals, J. C. Sanchez, A. Sánchez-Pla, J. Montaner // *Molecular Neurobiology*. – 2021. – Vol. 58. – N 8. – P. 4107–4121.

Tamura, M. K. Kidney disease, hypertension treatment, and cerebral perfusion and structure / M. Kurella Tamura, S. Gaussoin, N. M. Pajewski, G. Zaharchuk, B. I. Freedman, S. R. Rapp, A. P. Auchus, W. E. Haley, S. Oparil, J. Kendrick, C. L. Roumie, S. Beddhu, A. K. Cheung, J. D. Williamson, J. A. Detre, S. Dolui, R. N. Bryan, I. M. Nasrallah; SPRINT Research Group // *American journal of kidney diseases*. – 2022. – Vol. 79. – N 5. – P. 677687.

Thomas, A. M. Differentially expressed genes for atrial fibrillation identified by RNA sequencing from paired human left and right atrial appendages / A. M. Thomas, C. P. Cabrera, M. Finlay, K. Lall, M. Nobles, R. J. Schilling, K. Wood, C. A. Mein, M. R. Barnes, P. B. Munroe, A. Tinker // *Physiological Genomics*. – 2019 – Vol. 51. – N 8 – P. 323332.

Wehrens, M. Singlecell transcriptomics provides insights into hypertrophic cardiomyopathy / M. Wehrens, A. E. de Leeuw, M. Wright-Clark, J. E. C. Eding, C. J. Boogerd, B. Molenaar, P. H. van der Kraak, D. W. D. Kuster, J. van der Velden, M. Michels, A. Vink, E. van Rooij // *Cell reports*. – 2022. – Vol. 39. – N 6. – P. 11080

ИЗУЧЕНИЕ ГЕРОПРОТЕКТОРНОГО И РАДИОПРОТЕКТОРНОГО ДЕЙСТВИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИНГИБИТОРОВ PIWI НА МОДЕЛИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Н. С. Уляшева, Л. А. Коваль, И. А. Соловьев,
М. В. Шапошников, Е. Н. Прошкина, А. А. Москалев

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: ulyasheva-1309@yandex.ru

Важную роль в процессах поддержания стабильности генома и генной экспрессии играют белки подсемейства PIWI семейства *Argonaute* (Iwasaki et al., 2015). пиРНК могут связываться с белками PIWI, тем самым влияя на регуляцию экспрессии генов, необходимых для развития сперматозоидов; участвуют в регуляции перестройки генома, контролируя процессы репарации ДНК и интеграции мобильных элементов; участвуют в эпигенетической регуляции, включая метилирование ДНК и модификацию хроматина; влияют на экспрессию генов, участвующих в синтезе белков, и тем самым могут регулировать их уровень в клетке; способствуют поддержанию зародышевых стволовых клеток (Han et al., 2017).

Активность генов, кодирующих белки PIWI, может влиять на старение и стрессоустойчивость организма. Например, нами установлено, что тканеспецифичный нокдаун гена PIWI продлевает жизнь дрозофилы и влияет на его стрессоустойчивость (Proshkina et al., 2021).

Мы провели компьютерный поиск потенциальных лигандов белка piwi *D. melanogaster* и PIWIL1 человека при помощи онлайн инструмента DockThor (Guedes et al., 2021) для виртуального скрининга лигандов белковых мишеней. На основании данного поиска составили список препаратов – потенциальных ингибиторов PIWI, клинически одобренных и доступных для приобретения на территории Российской Федерации. Моделирование межмолекулярных взаимодействий веществ и подбор их концентраций осуществляли при помощи приложения AmDock (Valdes-Tresanco et al., 2020).

Целью данной работы было изучить влияние фармакологических препаратов (метопролол, атенолол, мизопростол, имипенем, финголимод), которые являются потенциальными ингибиторами белков PIWI, на продолжительность жизни (ПЖ) и устойчивость к прооксиданту параквату и гамма-облучению на модели *D. melanogaster*.

Ранее эффекты на ПЖ для изучаемых веществ были проанализированы только для метопролола и атенолола, относящихся к блокаторам β 1-адренорецепторов. Метопролол увеличивал ПЖ самцов мышей и дрозофил (Spindler et al., 2013). Атенолол, напротив, отрицательно влиял на выживаемость зрелых мышей, но не молодых (Gomez et al., 2014). Результаты нашей работы согласуются с этими данными. Метопролол в концентрациях 1–5000 мкмоль/л увеличивал медианную ПЖ и возраст 90% смертности у самок на 3–9% ($p < 0.0001$). Но данное вещество не оказало статистически значимого влияния на самцов. Атенолол в наименьшей концентрации 1 мкмоль/л приводил к увеличению медианной и максимальной ПЖ дрозофил на 1–3% ($p < 0.01$). При этом в концентрациях 10–100 мкмоль/л он снижал ПЖ, либо не оказывал статистически значимого эффекта.

В то же время три вещества с ранее неизученными георепротекторными эффектами, имипенем (в концентрациях 1–100 мкмоль/л), финголимод (100 мкмоль/л) и мезопрострол (100 мкмоль/л) также увеличивали медианную и максимальную ПЖ дрозофил на 2–14% ($p < 0.05$). Наибольший эффект наблюдался при применении имипенема в концентрации 100 мкмоль/л у самок.

Далее для анализа стрессоустойчивости были выбраны отдельные концентрации изучаемых веществ: 1 и 100 мкмоль/л для атенолола, 100 и 5000 мкмоль/л для метопролола, 1, 10 и 100 мкмоль/л имипенема, 10 и 100 мкмоль/л финголимоды и 100 мкмоль/л мизопростола. Дрозофил предварительно кормили потенциальными ингибиторами PIWI в данных концентрациях в течение 15 суток, после чего подвергали одному из стрессовых воздействий: 20 ммоль/л прооксиданта параквата, гамма-излучения в дозе 120 Гр, гамма-излучения в дозе 800 Гр.

Все изучаемые соединения вызывали снижение выживаемости до 18% ($p < 0.01$) в стрессовых условиях в большинстве экспериментальных вариантов. Защитное действие к облучению в дозе 120 Гр оказывали бета-блокаторы атенолол и метопролол. Данные вещества повышали медианную и максимальную выживаемость дрозофил на 5–13% ($p < 0.001$). В то же время финголимод повышал выживаемость самок дрозофил после облучения в дозе 800 Гр. После применения этого препарата наблюдали увеличение медианной выживаемости на 18–32% ($p < 0.001$) и возраста 90% смертности на 15% ($p < 0.01$).

Таким образом, мы идентифицировали потенциальные ингибиторы белков подсемейства PIWI семейства *Argonate* на основании виртуального скрининга лигандов белковых мишеней. Впервые оценили влияние на продолжительность жизни и стрессоустойчивость организма атенолола, метопролола, имипенема, финголимоды и мизопростола на модели *Drosophila me-*

lanogaster. Полученные данные свидетельствуют о положительном эффекте на продолжительность жизни всех изученных препаратов, но в некоторых случаях он присутствовал только при определенных концентрациях. Наиболее выраженное и воспроизводимое увеличение продолжительности жизни вызывали метопролол (на 3–9%) и имипенем (на 4–14%). В то же время, влияние исследуемых веществ на стрессоустойчивость неоднозначно и зависит от концентрации препарата, так же как вида и интенсивности повреждающего воздействия. Требуется проведение дополнительных исследований для подтверждения их геропротекторных свойств и выяснения механизмов действия.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» N 122040600022-1.

ЛИТЕРАТУРА

Guedes, I. A. Drug design and repurposing with DockThor-VS web server focusing on SARS-CoV-2 therapeutic targets and their non-synonym variants / I. A. Guedes, L. S. Costa, K. B. Dos Santos, ALM. Karl, G. K. Rocha, I.M. Teixeira, M.M. Galheigo, V. Medeiros, E. Krempser, F.L. Custodio, H. J. C Barbosa, M.F. Nicolas, L.E. Dardenne // Sci Rep. – 2021. – Vol. 11. – N 1. – P. 5543.

Gomez, A. Lifelong treatment with atenolol decreases membrane fatty acid unsaturation and oxidative stress in heart and skeletal muscle mitochondria and improves immunity and behavior, without changing mice longevity / A. Gomez, I. Sanchez-Roman, J. Gomez, J. Cruces, I. Mate, M. Lopez-Torres, A. Naudi, M. Portero-Otin, R. Pamplona, M. De la Fuente, G. Barja // Aging Cell. – 2014. – Vol. 13. – N 3. – P. 551–560.

Han, Y.N. PIWI Proteins and PIWI-Interacting RNA: Emerging Roles in Cancer / Y. N. Han, Y. Li, S.Q. Xia, Y. Y. Zhang, J. H. Zheng, W. Li // Cell Physiol Biochem. – 2017. – Vol. 44. – N 1. – P. 1-20.

Iwasaki, Y. W. PIWI-Interacting RNA: Its Biogenesis and Functions / Y. W. Iwasaki, M. C. Siomi, H. Siomi // Annu Rev Biochem. – 2015. – Vol. 84. – P. 405–433.

Proshkina, E. Tissue-Specific Knockdown of Genes of the Argonaute Family Modulates Lifespan and Radioresistance in Drosophila Melanogaster / E. Proshkina, E. Yushkova, L. Koval, N. Zemskaya, E. Shchegoleva, I. Solovev, D. Yakovleva, N. Pakshina, N. Ulyasheva, M. Shaposhnikov, A. Moskalev // Int J Mol Sci. – 2021. – Vol. 22. – N 5. – P. 2396.

Spindler, S. R. β 1-Adrenergic receptor blockade extends the life span of Drosophila and long-lived mice / S. R. Spindler, P. L. Mote, R. Li, J. M. Dhahbi, A. Yamakawa, J. M. Flegal, D. R. Jeske, R. Li, A. L. Lublin // Age (Dordr). – 2013. – Vol. 35. – N 6. – P. 2099–2109.

Valdes-Tresanco, M.S. AMDock: a versatile graphical tool for assisting molecular docking with Autodock Vina and Autodock4 / Valdes-Tresanco, M. S., Valdes-Tresanco, M. E., Valiente, P. A. E. Moreno // Biol Direct. – 2020. – Vol. 15. – N 12.

Секция 5**ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ
РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ**

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ *COELASTRELLA* SP. В НАКОПИТЕЛЬНОЙ КУЛЬТУРЕ

А. В. Андреева**, В. С. Паршуков*, И. В. Новаковская*, О. В. Дымова*

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: dymovao@ib.komisc.ru

**Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

E-mail: faraon.andreewa2013@yandex.ru

Coelastrella – род зеленых водорослей, широко распространенных в наземных и водных местообитаниях. Виды *Coelastrella* – это преимущественно неподвижные одноклеточные водоросли, с клетками яйцевидной или эллипсоидной формы, относительно толстой клеточной стенкой с многочисленными ребрами на ее поверхности, пристенным дольчатым хлоропластом и одним пиреноидом. Вегетативные клетки одноядерные. Размножение автоспорами (Андреева, 1998). Представители рода *Coelastrella* перспективны для получения биологически активных веществ и биотоплива из-за высокого содержания липидов, белков, углеводов. Особый интерес представляют каротиноиды (Кар), которые накапливаются в клетках этих водорослей (Abe et al., 2007; Minyuk et al., 2016; Мальцева и др., 2022).

Цель работы – изучение роста и динамики содержания пигментов, хлорофиллов (Хл) и каротиноидов (Кар) в клетках штамма зеленой водоросли *Coelastrella* sp. Для исследований был использован штамм *Coelastrella* sp. (SYKOA Ch-072-17) из коллекций живых культур водорослей Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (<http://ib.komisc.ru/sykoa>), выделенный в 2016 году из почвы пятнистой кустарниково-лишайниковой тундры на Северном Урале в России (Novakovskaya et al., 2021).

В ходе эксперимента штамм *Coelastrella* sp. культивировали в трех колбах объемом 500 мл с 200 мл среды Прата ($MgSO_4 \times 7H_2O$, KNO_3 , $K_2HPO_4 \times 3H_2O$, $FeCl_3 \times 6H_2O$) и 10 мл инокулята. Выращивание водоросли осуществляли следующим способом: в лабораторной колбе культура барботировалась с помощью аэратора; интенсивность света составляла 60 мкмоль фотонов/(м² с) с режимом освещения (ч) 8:16 день/ночь, в течение 60 сут. Изучение показателей роста и отбор образцов для анализа пигментов (Хл и Кар) проводили во время экспоненциальной фазы роста (15 сут. культивирования), во время стационарной фазы (30 и 45 сут.) и после длительного выращивания (60 сут.). Перед определением Хл и Кар клетки водорослей отмывали от

среды дистиллированной водой, осаждали центрифугированием и замораживали с помощью жидкого азота для экстракции пигментов и проведения анализа методом обращено-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ).

Таблица 1
Динамика численности клеток, содержание хлорофиллов (Хл) и каротиноидов (Кар) в культуре *Coelastrella* sp.

Дни	Оптическая плотность	Число клеток шт/л	Хл а+b, мг/г сухой массы	Хл а/б	Кар, мг/г сухой массы
15	0.762	1.4×10^7	13.20 ± 0.50^a	3.6	2.98 ± 0.06^b
30	1.280	2.2×10^8	14.55 ± 0.35^{ab}	2.5	1.80 ± 0.50^a
45	1.420	2.9×10^8	16.79 ± 0.55^b	2.1	3.87 ± 0.05^c
60	1.500	3×10^8	21.14 ± 0.60^c	2.6	4.62 ± 0.45^d

Примечание: Разные надстрочные символы (a, b, c, d) обозначают статистическую значимость изменений параметра (ANOVA, тест Дункана, $P < 0.05$).

Как видно из табл. 1, от экспоненциальной (15 дн.) до фазы длительного культивирования (60 дн.) число клеток увеличилось более чем на порядок. По мере нарастания биомассы наблюдали накопление хлорофиллов и каротиноидов.

Таблица 2
Относительное содержание каротиноидов в клетках *Coelastrella* sp., %

Дни	Нео	Вио	Ант	Лют	Зеа	β-кар
15	21.1 ^a	4.7 ^a	1.0 ^a	38.4 ^a	80.0	10.4 ^a
30	30.0 ^a	5.6 ^a	3.3 ^b	30.4 ^b	66.0 ^{ab}	12.0 ^b
45	21.5 ^b	19.1 ^b	5.2 ^d	35.3 ^a	30.0 ^b	8.8 ^a
60	25.1 ^c	27.3 ^c	4.1 ^c	28.0 ^a	18.0 ^a	9.7 ^c

Примечание: Нео – неоксантин, Вио – виолаксантин, Ант – антераксантин, Лют – лютеин, Зеа – зеаксантин, β-кар – β-каротин. Разные надстрочные символы (a, b, c, d) обозначают статистическую значимость изменений параметра (ANOVA, тест Дункана, $P < 0.05$).

Установлено, что штамм *Coelastrella* sp. в экспоненциальной фазе роста продуцировал 13.2 мг/г или 1.32% сухой массы Хл, а концентрация Хл а достигала 10.3 мг/г или 1.03%. После перехода культуры в стационарную фазу количество Хл увеличивалось до 16.8 (1.68%) и далее до 21.1 мг/г (2.11%) к 60 сут. При этом после длительного культивирования происходило изменение состава Хл – возрастала доля Хл b. Об этом свидетельствует соотношение Хл а/б, которое изменялось от 3.6 до 2.6 по мере старения культуры клеток. Это согласуется с данными (Мальцева и др., 2022) о

том, что для видов *Coelastrella* характерно снижение доли Хл *a* в стационарной фазе роста по сравнению с экспоненциальной. Для штамма SYKOA Ch-072-17 установлено суммарное содержание Кар на уровне 3–5 мг/г (0.3–0.5% сухой массы) и их накопление с возрастом культуры. Подобная тенденция установлена и для других штаммов рода *Coelastrella* (Мальцева и др., 2022). Анализ содержания индивидуальных Кар показал (табл. 2), что в клетках изученной водоросли на всем протяжении роста штамма в накопительной культуре β-каротин поддерживался на уровне 9–12%, в стационарную фазу неоксантин достигал 31–35%, в течении 60 сут возрастал фонд компонентов виолаксантинового цикла (виолаксантин+антраксантин+зеаксантин) – почти до 38%.

Заключили, что оптимальными условиями для получения обогащенной Хл и Кар биомассы *Coelastrella* sp. (SYKOA Ch-072-17) является культивирование на среде Прага в колбе с дополнительным аэрированием в течении 60 сут. Это позволяет получать достаточное количество биомассы с накоплением в ней Хл и Кар. Штамм SYKOA Ch-072-17 может представлять интерес для биотехнологии как источник для получения биологически активных веществ (Хл и Кар), повышая экономическую составляющую данного вида.

Финансирование исследований осуществлялось из средств федерального бюджета (№ № 122040600021-4 и 122040600026-9).

ЛИТЕРАТУРА

Андреева, В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales). – СПб: Наука, 1998. – 352 с.

Мальцева, С. Ю. Функциональное состояние *Coelastrella multistriata* (Sphaeropleales, Chlorophyta) в накопительной культуре / С. Ю. Мальцева, М. С. Куликовский, Е. И. Мальцев // Микробиология. – 2022. – Т. 91. – № 5. – С. 565–575.

Abe, K. Accumulation and antioxidant activity of secondary carotenoids in the aerial microalga *Coelastrella striolata* var. *multistriata* / K. Abe, H. Hattori, M. Hirano // Food chemistry. – 2007. – Vol. 100. – N 2. – P. 656–661.

Minyuk, G. pH and CO₂ effects on *Coelastrella* (*Scotiellopsis*) *rubescens* growth and metabolism / G. Minyuk, E. Chelebieva, I. Chubchikova, N. Dantsyuk, I. Drobetskaya, E. Sakhon, O. Chivkunova, K. Chekanov, E. Lobakova, R. Sidorov, A. Solovchenko // Russ. J. Plant Physiol. – 2016. – Vol. 63. – P. 566–574.

Novakovskaya, I. V. Morphological and phylogenetic relations of members of the genus *Coelastrella* (Scenedesmaceae, Chlorophyta) from the Ural and Khentii Mountains (Russia, Mongolia) / I. V. Novakovskaya, I. Egorova, N. Kulakova, E. Patova, D. Shadrin, O. Anissimova // Phytotaxa. – 2021. – Vol. 27. – N 1. – P. 1–20.

ВЛИЯНИЕ УФ-В НА CO_2 -ГАЗООБМЕН И ФЛУОРЕСЦЕНЦИЮ ХЛОРОФИЛЛА АДАПТИРОВАННЫХ ЛИСТЬЕВ ОЧИТНИКА ТРЕХЛИСТНОГО

М. С. Атоян, Р. В. Малышев

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: marinaatoyan@ib.komisc.ru

В естественных условиях растения постоянно находятся под воздействием ультрафиолетового излучения. В спектре солнечного света 7% энергии приходится на ультрафиолет. Это длины электромагнитных волн в диапазоне 200–400 нм. Ультрафиолет (УФ) подразделяют на 3 вида – С, В и А с соответствующими областями излучения. УФ-С – полностью поглощается атмосферными газами, небольшая часть УФ-В достигает поверхности земли, УФ-А почти беспрепятственно проходит сквозь атмосферу, воздействуя в дальнейшем на растения и другие объекты живого мира (Данильченко и др., 2002). Было показано, что УФ радиация оказывает влияние на физиологические функции растений: ингибирует ферментативную, регуляторную, транспортную функции белков, окисление липидов мембран, происходит деструкция фитогормонов, торможение процессов роста и развития и т.д. (Дубров, 1989). Под влиянием УФ-В излучения нарушается функционирование ФС II, снижение активности ФС I и в целом изменяется фотосинтетическая активность растений (Lidon, Ramalho, 2011). УФ-В радиацию растения воспринимают с помощью УФ-В чувствительного рецептора UVR8, при активации которого запускается цепь адаптивных реакций (Дубров, 1989). Однако при высокой интенсивности УФ-В излучения скорость развертывания протекторных механизмов бывает недостаточной, что вызывает ингибирование фотосинтетической активности или метаболизма клетки в целом. Известно, что УФ радиация действует на растения двумя путями: с одной стороны вызывает ингибирование фотосинтетической активности или повреждение фотосинтетического аппарата, с другой стороны, вызывает индукцию защитных систем (Kosobryukhov et al., 2015). Ранее нами было показано (Атоян, Малышев, 2023), что УФ-В радиация в дозе меньше, чем в естественных условиях не влияет на состав и количество фотосинтетических пигментов, однако существенно подавляет процесс ассимиляции CO_2 .

Целью данной работы было изучение влияния УФ-В радиации на CO_2 -газообмен и флуоресценцию хлорофилла у предварительно адаптированных молодых листьев очитника трехлистного.

Объектом исследования служили растения очитника трехлистного (*Hylothelephium triphyllum* (Haw.) Holub) – многолетнего травянистого растения, семейства Толстянковые (*Crassulaceae*), произрастающего на дерново-слоистой, песчано-супесчаной хорошо дренируемой почве в заливаемой части пойменной террасы р. Сысолы. Исследуемый материал собирали поздней осенью. Подземную часть растений (48 шт.) выкапывали и переносили в лабораторию до развития побега с листьями (18 дней) при температуре 25 °С, при фотопериоде 9/15ч, освещенности 400 мкмоль квантов/м² с (светильники ТМ Uniel, ULI-10P-18W).

Все растения были разделены на три группы: контрольная и две опытные. Первая опытная группа (группа А) облучалась УФ-В 0.2 Вт/м² (0.72 кДж/м²) по 10 мин в течение 18 суток, начиная с этапа внутрипочечного развития побега. Вторая опытная группа (группа Б) облучалась УФ-В 0.2 Вт/м² (0.72 кДж/м²) по 10 мин в течение 14 суток начиная с этапа отрастания побега. В качестве источника УФ-В радиации использовали лампы ЛЭР 40М. На 18 сутки, с развитием у растений прямостоячего побега с листьями, опытные группы облучались УФ-В радиацией интенсивностью 0.7 Вт/м² в течение 1 часа в сутки. Измерения функциональных параметров растений *H. triphyllum* проводили при дозе УФ-В облучения 2.5 кДж/м² (1-е сутки) и 7.5 кДж/м² (3-е сутки). Используемая доза УФ-В радиации была в 2–2.5 раза меньше дозы, которую растения могут получить в естественных условиях за то же время.

В качестве функциональных показателей метаболизма использовали индуцированную флуоресценцию хлорофилла и интенсивность CO₂ – газообмена. Флуоресценцию хлорофилла определяли с помощью флуориметра РАМ-2100 («Walz», Германия) у растений, предварительно адаптированных в темноте. Интенсивность CO₂ газообмена оценивали с помощью ИК-газоанализатора (Li-cor 7000, США). Измерения проводили при температуре 20 °С и плотности светового потока 400–450 мкмоль квантов/м²с. Дозу УФ контролировали с помощью УФ радиометра.

Обработка данных, полученных в пяти биологических повторностях, проведена методами математической статистики с использованием программного обеспечения MS Excel 2003.

Относительные значения влияния ультрафиолета на интенсивность работы фотосистемы II оценивались по параметрам замедленной флуоресценции хлорофилла.

Максимальная фотохимическая эффективность ФСИ (Fv/Fm) составляет примерно 0.82 отн. ед., что характерно для большинства растений, находящихся в оптимальных условиях роста. По мере накопления дозы УФ наблюдается снижение данного показателя до 0.74 отн. ед. у растений адаптированных на этапе внутрипочечного развития побега (группа А) и до 0.79 отн.

ед. в растениях, адаптированных на этапе отрастания побега (группа Б). На фоне снижения эффективности фотохимических реакций фотосистемы II и эффективности фотосинтеза (Yield) снижается по сравнению с контрольной группой показатель фотохимического тушения (qP), у группы А на 4% у группы Б на 10% (табл. 1). Не использованная в фотохимических реакциях энергия света диссипировала в форме тепла, что проявилось в увеличении нефотохимического тушения (qN) особенно у листьев растений из группы Б (табл. 1). В целом отмечается снижение эффективности усвоения энергии света по мере накопления дозы УФ-В.

Таблица 1

Влияние УФ-В радиации на интенсивность замедленной флуоресценции хлорофилла (отн. ед.) в листьях *H. triphyllum*

Доза УФ-В	Fv/Fm	Yield	qP	qN
Контроль (0 кДж/м ²)	0.815±0.058	0.744±0.003	0.0919±0.001	0.240±0.017
Группа А				
1 час (2.5 кДж/м ²)	0.851±0.008	0.708±0.023	0.912±0.009	0.224±0.025
3 часа (7.5 кДж/м ²)	0.770±0.099	0.663±0.018	0.884±0.012	0.259±0.093
Группа Б				
1 час (2.5 кДж/м ²)	0.857±0.013	0.754±0.028	0.939±0.021	0.311±0.043
3 часа (7.5 кДж/м ²)	0.789±0.02	0.548±0.065	0.832±0.036	0.498±0.121

Результаты измерения интенсивности CO₂-газообмена, выявили дозозависимый эффект. В обеих группах растений по мере увеличения дозы УФ-В интенсивность фотосинтеза снижалась в наибольшей степени у растений группы Б, адаптированных со стадии отрастания побега. Наблюдалось увеличение, по сравнению с контролем, дыхания листьев обеих групп при дозе 2.5 кДж/м², что вероятно обусловлено происходящими репарационными процессами в ответ на повреждения УФ-В радиацией. При увеличении дозы УФ до 7.5 кДж/м² рост интенсивности дыхания отмечался только у растений, адаптированных к УФ со стадии внутрипочечного развития побега (группа А). Отмеченное существенное подавление дыхания и фотосинтеза в листьях растений группы Б после накопления ими дозы УФ-В 7.5 кДж/м², по-видимому, это является отражением летальных повреждений в листьях (табл. 2).

Подсчет количества поврежденных листьев у групп А и Б показал, что после 1 часа воздействия УФ-В радиации, группа растений, адаптированных на стадии отрастания побега (группа Б), была более чувствительна к воздействию УФ-В. Процент поврежденных растений в группе Б составил 85%, в группе А 45%.

Таблица 2

Влияние УФ-В радиации на CO_2 газообмен в листьях *H. triphyllum*

Доза УФ-В	Интенсивность фотосинтеза, мг CO_2 /г сухой массы ч.	Интенсивность дыхания, мг CO_2 /г сухой массы ч.
Контроль (0 кДж/м ²)	16.0 ±2.6	-1.7±2.0
Группа А		
1 час (2.5 кДж/м ²)	13.2± 4.7	-2.2±0.5
3 часа (7.5 кДж/м ²)	2.6±0.5	-4.2±0.2
Группа Б		
1 час (2.5 кДж/м ²)	7.4±3.2	-5.6±1.3
3 часа (7.5 кДж/м ²)	0.9±0.1	-0.5±0.1

Таким образом, УФ-В радиация в дозе меньше, чем в естественных условиях, у предварительно адаптированных растений вызывала снижение фотохимических реакций и увеличение нефотохимической составляющей фотосинтеза. По мере увеличения дозы УФ-В наблюдалось повреждение растений, проявляющееся в подавлении фотосинтеза и увеличении интенсивности дыхания. Отмеченное повышение дыхания, вероятно, связано с репарацией поврежденных структур.

ЛИТЕРАТУРА

Атоян, М. С. Влияние УФВ на CO_2 газообмен, флуоресценцию и содержание пигментов в листьях очитника трехлистного / М. С. Атоян, Р. В. Малышев // Современные проблемы экспериментальной ботаники: Сборник матер. III Междун. научной конф. молодых учёных. – Минск: БелНИИТ «Транстехника», 2023. – С. 135–139.

Данильченко, О. А. Значение ультрафиолетового излучения в жизнедеятельности растений / О. А. Данильченко, Д. М. Гродзинский, В. Н. Власов // Физиология и биохимия культурных растений. – 2002. – Т. 34. – № 3. – С. 187–197.

Дубров, А. П. Генетические и физиологические эффекты действия ультрафиолетовой радиации на высшие растения / А. П. Дубров. – М.: Просвещение, 1989. – 44 с.

Kosobryukhov, A. A. Adaptive mechanisms of photosynthetic apparatus to UV radiation / A. A. Kosobryukhov, V. Yu. Lyubimov, V. D. Kreslavski // Stress Responses in Plants. Mechanisms of Toxicity and Tolerance. – Springer, 2015. – P. 59–78.

Lidon, F. C., Ramalho J. C. Impact of UVB irradiation on photosynthetic performance and chloroplast membrane components in *Oryza sativa* L. / F. C. Lidon, J. C. Ramalho // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. – 2011. – Vol. 104. – P. 457–466.

СЕЗОННАЯ АКТИВНОСТЬ КАМБИЯ *PINUS SYLVESTRIS* L. В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

Н. В. Афошин, Т. В. Тарелкина, А. А. Серкова,
Л. И. Семёнова, Д. С. Иванова

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук

E-mail: afosh.nik843@gmail.com

Камбий является основной вторичной меристемой, участвующей в формировании древесины и коры ствола. На территориях с выраженной сезонностью климата активность камбия также носит сезонный характер. При этом в работах различных авторов было отмечено, что продолжительность периода камбиальной активности и сроки прохождения ее основных фаз определяются условиями произрастания, среди которых важнейшую роль играют температура окружающей среды и доступность влаги (Ваганов, Шашкин, 2000; Антонова, 1999). Сосна обыкновенная является одним из основных лесообразующих видов на территории Республики Карелия. Цель работы заключалась в изучении сезонной активности камбия у деревьев сосны в условиях южной Карелии.

Работу проводили на территории Петрозаводской лесосеменной плантации I порядка (15 км от г. Петрозаводск, Республика Карелия). Возраст деревьев составлял 45 лет. Были подобраны деревья, отличающиеся по числу клеток ксилемы, отложенных камбием за предыдущие 5 лет. Первая группа включала 3 дерева, у которых камбий откладывал 40–60 клеток ксилемы в год. Вторая группа включала 4 дерева, у которых камбий откладывал 80–120 клеток в год. Отборы тканей проводили с 5 мая по 6 сентября 2022 года, через 3–4 дня в мае, в 7-дневной динамике в июне и в 10-дневной динамике в июле и августе. Также однократно были отобраны образцы 5 октября 2022 года. Фиксацию тканей и микроскопический анализ образцов проводили по общепринятым методикам.

Первые деления камбиальных клеток, локализованные с флоэмной стороны камбия, были зафиксированы в первых числах мая. У деревьев первой группы в первые 2 недели после возобновления камбиальной активности деления были единичными, ширина камбиальной зоны не превышала 10–15 клеток. У деревьев второй группы в этот же период регистрировались интенсивные деления, в результате чего к концу мая ширина камбиальной зоны составляла до 25 клеток.

Формирование элементов ранней флоэмы продолжалось около двух недель, зрелые ситовидные клетки были отмечены в сос-

таве флоэмы в конце второй декады мая. В конце мая в составе флоэмы уже были заметны паренхимные клетки, относящиеся к поздней флоэме. Отложение клеток поздней флоэмы продолжалось в течение всего периода камбиальной активности. При этом активность камбия в сторону отложения клеток флоэмы различалась у деревьев двух групп: у деревьев первой группы ширина годичного прироста флоэмы составляла 11–12 клеток, у деревьев второй группы – 17–19 клеток.

Отложение камбием трахеид ксилемы отмечали 16–20 мая, причем у деревьев второй группы ксилогенез начался на несколько дней раньше, чем у деревьев первой группы. Фаза формирования вторичной клеточной стенки трахеид началась одновременно у деревьев обеих групп в начале июня. Первые зрелые трахеиды с полностью сформированными клеточными оболочками были отмечены в ксилеме деревьев обеих групп 21 июня.

Окончание фаз камбиальной активности, флоэмо- и ксилогенеза в 2022 году также было согласованным у деревьев обеих групп. В образцах, отобранных 5 августа, у всех деревьев не были зафиксированы деления камбиальных клеток, что свидетельствует о прекращении камбиальной активности. Окончание фазы растяжения последних отложенных камбием трахеид у деревьев первой группы было отмечено в образцах, отобранных 15 августа 2022 года. У деревьев второй группы на эту дату присутствовали 1–2 поздние трахеиды в фазе растяжения. У большинства изученных деревьев окончание фазы лигнификации клеточных стенок трахеид было отмечено в образцах, отобранных 6 октября. Среднее число отложенных камбием в 2022 году клеток ксилемы составило 44 шт. у деревьев первой группы и 81 шт. у деревьев второй группы.

Можно заключить, что продолжительность фаз камбиальной активности, и фаз флоэмо- и ксилогенеза в 2022 году существенно не отличались у деревьев двух групп. Различия в ширине годичных приростов были обусловлены различиями в скорости отложения камбием клеток флоэмы и ксилемы, что обусловило различную динамику формирования годичных приростов. У деревьев первой группы в течение вегетационного периода 2022 года наблюдался только один пик скорости отложения клеток (> 1 клетки за сутки) в начале июня, в то время как у деревьев второй группы высокая скорость отложения клеток поддерживалась в течение месяца, с начала июня до начала июля. При этом у деревьев первой группы наблюдалась высокая степень корреляции скоростей отложения клеток флоэмы и ксилемы ($r = 0.759$), тогда как у деревьев второй группы скорости отложения камбием клеток флоэмы и ксилемы слабо коррелировали ($r = 0.284$).

В 2022 году период отбора образцов (май-август) характеризовался более высокими средними температурами по сравнению

с климатической нормой, сумма осадков значительно превышала климатическую норму. Среди всех исследованных параметров флоремо- и ксилогенеза значимые корреляции с погодными условиями были выявлены только для скорости увеличения числа клеток в камбиальной зоне и в зоне растяжения ксилемы. У деревьев первой группы этот показатель продемонстрировал отрицательные корреляции со средними дневными (Тдн) и средними ночными температурами (Тн) и с индексом дефицита водного пара (VPD) за 10-дневный период. У деревьев второй группы этот показатель также продемонстрировал значимые отрицательные корреляции с VPD за 10-дневный период, Тдн за 7-дневный период и Тн за 5-дневный период. Также у деревьев второй группы была показана значимая положительная корреляция между числом трахеид, находящихся в фазе лигнификации клеточных стенок, и Тн за 7-дневный период.

Таким образом, впервые на территории Республики Карелия проведен детальный анализ сезонной активности камбия сосны обыкновенной. Установлено, что камбиальная активность продолжается примерно 3 месяца, с начала мая до начала августа. Период наиболее активных клеточных делений приходится на начало июня и может продолжаться у некоторых деревьев до начала июля. Активность камбиальных делений в этот период определяет величину прироста ксилемы. Недостаток влаги, обусловленный повышением температуры воздуха и снижением влажности, негативно влияет на отложение камбием клеток ксилемы. При этом деревья, формирующие широкие приросты ксилемы, быстрее реагируют на изменения погодных условий.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (номер госрегистрации: 121061500082-2). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

ЛИТЕРАТУРА

Антонова, Г. Ф. Рост клеток хвойных / Г. Ф. Антонова. – Новосибирск: Сибирская издательская фирма «Наука» РАН, 1999. – 227 с.

Ваганов, Е. Рост и структура годичных колец хвойных / Е. Ваганов, А. Шашкин. – Новосибирск: Наука, 2000. – 232 с.

ПОЛУЧЕНИЕ МУТАНТНЫХ ШТАММОВ БАЦИЛЛ ПО ГЕНАМ-КАНДИДАТАМ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА ФОРМИРОВАНИЕ ISR-ПРАЙМИНГА

Ю. А. Васильева, А. И. Гильмутдинова, Д. И. Хасанов, Ю. В. Данилова,
Н. Л. Рудакова, М. Р. Шарипова

Институт фундаментальной медицины и биологии
Казанского федерального университета

E-mail: vasiljeva891@mail.ru; aigwinrygilmyzn@gmail.com;
hasda2149@gmail.com; danilova146@mail.ru; natalialrudakova@mail.ru;
marsharipova@gmail.com

Различные стрессовые факторы, такие как изменение климата, вредители и патогены, вызывают снижение урожайности сельскохозяйственных культур, что приводит к нехватке продовольствия наряду с быстрым ростом населения (Olanrewaju et al., 2022). Поэтому необходимо найти долгосрочные решения по совершенствованию методов производства сельскохозяйственных культур.

Полезных бактерий, известных как PGPR (ризобактерии, стимулирующие рост растений), способны формировать индуцированную системную устойчивость (ISR) у растений. К ним относятся бактерии рода *Bacillus*, которые демонстрируют высокую выживаемость в почве (Chowdhury et al., 2013). За счет продукции антимикробных веществ и сидерофоров, бациллы подавляют развитие конкурирующих микроорганизмов и являются перспективными кандидатами для использования в биозащите сельскохозяйственных растений. Актуальность исследования обусловлена изучением малоизученного механизма формирования системной устойчивости (ISR) у растений, вызванного PGPR с применением метода CRISPR/Cas9, который позволяет определять роль ключевых молекул в данном процессе.

Цель исследования – получение мутантных штаммов рода *Bacillus* по генам-кандидатам, ответственных за формирование ISR-прайминга.

Для инактивации целевых генов бацитилина (*bac*), бактериоцина (*bact*) в *B. pumilus* 3-19 и генов сурфактина (*srfABC*) и сидерофора (*dhbF*) в *B. subtilis* 168 были созданы векторные конструкции pDIb11.21, pVYb11.21, pVYs07.23, pGAb08.23, содержащие систему CRISPR/Cas9, sgRNA и ДНК-матрицу. Целостность плазмид подтверждали секвенированием. Полученные вектора трансформировали в клетки бацилл методом электропорации. Далее проводили инактивацию генов бацитилина (*bac*) и бактериоцина (*bact*) в геноме *B. pumilus* 3-19, а также гена

сидерофора (*dhbF*) у *B. subtilis* 168. Инактивация генов анти-микробных пептидов у бактерии *B. pumilus* 3-19 приводит к снижению антимикробной активности, при этом бацелизин играет ключевую роль в подавлении фитопатогенов. На основе полученных плазмид планируется дальнейшее удаление других молекулярных соединений, активирующих защитные функции растений, детальное описание биохимических и физиологических свойств мутантных штаммов, исследование их взаимодействия с растительными организмами.

Исследование выполнено за счет средств гранта РФФ №22-16-00138 на исследовательской базе Программы стратегического академического лидерства Казанского федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

ЛИТЕРАТУРА

Chowdhury, S. P. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 on lettuce growth and health under pathogen pressure and its impact on the rhizosphere bacterial community / S. P. Chowdhury, K. Dietel, M. Rändler, M. Schmid, H. Junge, R. Borriss, R. Gro // Plos one. – 2013. – Vol. 8. – N 7. – P. e68818.

Olanrewaju, O. S. The rhizosphere microbial complex in plant health: A review of interaction dynamics / O. S. Olanrewaju, O. O. Babalola // Journal of Integrative Agriculture. – 2022. – Vol. 21. – N 8. – P. 2168–2182.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ КИСЛОТ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ В ВИДЕ ГАЛОГЕНПРОИЗВОДНЫХ МЕТОДОМ ГХ-ДЭЗ

Н. Э. Вебер, И. В. Груздев, О. В. Скроцкая

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: veber.n@ib.komisc.ru

Фенольные соединения являются одними из наиболее распространенных вторичных метаболитов высших растений, образующихся во всех их клетках и тканях. Они придают окраску плодам, участвуют в регуляции роста и развития растений, защищают их от стрессовых воздействий. Соединения этого класса встречаются в большинстве лекарственных растений, проявляют антивирусную и противовоспалительную активность, поэтому широко применяются в фитотерапии и фармакологии (Елин, 2001).

Классический инструментальный метод определения фенолов в растениях – спектрофотометрия. Окрашенные производные фенолов получают при взаимодействии с реактивами Фолина–Чокальтеу или Фолина–Дениса (Николаева, 2021). Реакция не протекает селективно и указанные реагенты могут взаимодействовать и с другими веществами (сахара, ароматические амины и др.), что часто приводит к завышению результатов анализа. Кроме того, спектрофотометрические методы позволяют определять только суммарное содержание соединений фенольного ряда. Для определения индивидуальных фенолов в растениях необходимо применять хроматографические методы.

Цель работы – разработка высокочувствительной и селективной методики количественного определения содержания фенольных кислот в растительных материалах методом газовой хроматографии.

В качестве объектов исследования выбраны лекарственные растения (плоды рябины, душица обыкновенная, пустырник сердечный и иссоп лекарственный) из коллекции Ботанического сада ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Для определения фенольных кислот (2-гидроксibenзойная кислота, 4-гидрокси-3-метокси-бензойная кислота, 4-гидрокси-коричная кислота, 3,4-дигидрокси-коричная кислота, 4-гидрокси-3-метокси-коричная кислота) в растительных образцах нами предложен способ, основанный на их двухстадийной химической модификации. Способ предполагает получение этиловых эфиров фенолкислот в условиях кислотного метанолиза, их жидкостную

экстракцию толуолом, промежуточную реэкстракцию в водно-щелочной раствор, последующее ацилирование трифторуксусным ангидридом (ТФАА) и газохроматографическое определение полученных производных с детектором электронного захвата (ГХ-ДЭЗ). Трифторацильные производные этиловых эфиров фенольных кислот в качестве аналитической формы применены впервые (рис.).

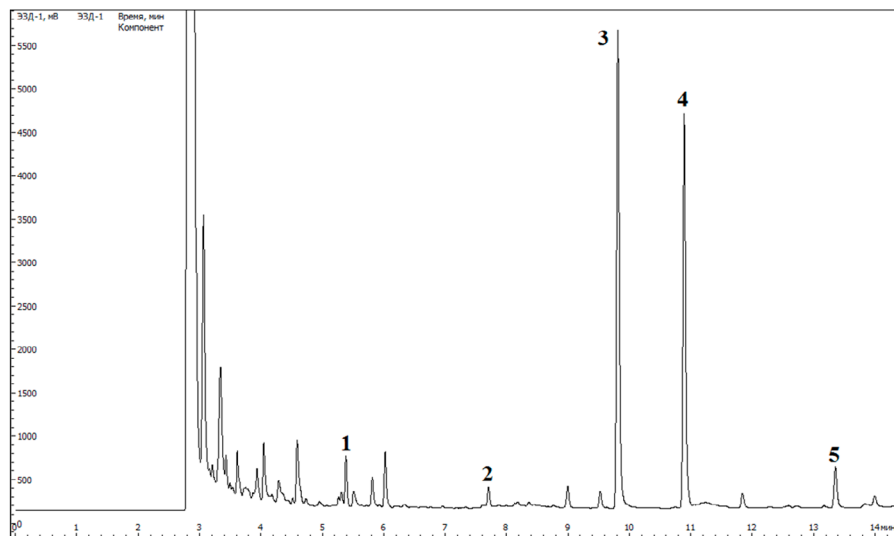


Рис. Хроматограмма фенольных кислот (трифторацильные производные этиловых эфиров): 2-гидроксibenзойная кислота (1), 4-гидрокси-3-метокси-бензойная кислота (2), 4-гидроксикоричная кислота (3), 3,4-дигидрокси-коричная кислота (4), 4-гидрокси-3-метокси-коричная кислота (5); экстракт из плодов *Sorbus aucuparia*.

Для повышения эффективности извлечения анализируемых соединений из растительных материалов применено совмещение стадий экстракции и дериватизации аналитов. Проведение этих операций в одну стадию значительно повышает чувствительность определения и позволяет одновременно анализировать в растениях как свободные, так и связанные фенольные кислоты. Так, степень извлечения фенольных кислот из плодов рябины возрастает в 1.5–2 раза, а для отдельных соединений (кофейная кислота) – от 3 до 15 раз, указывающее на то, что именно эта фенолкислота является наиболее связанной в плодах рода *Sorbus*.

Разработанная методика была применена для оценки содержания фенольных кислот в плодах рябины и в растениях семейства Яснотковых: душицы обыкновенной, пустырника сердечного и иссопа лекарственного (табл.).

Таблица

**Содержания фенольных кислот в плодах рябины (*Sorbus*)
и растениях семейства Яснотковых**

Фенольная кислота	Содержание, мкг/г					
	<i>Sorbus sargentiana</i>	<i>Sorbus amurensis</i>	<i>Sorbus amurensis</i>	<i>Origanum (душица)</i>	<i>Leonurus cardiaca</i> (пустырник)	<i>Hyssopus officinalis</i> (исоп)
Салициловая	156	245	149	73.8	83.2	309
Ванилиновая	54.2	94.9	76.6	161	171	257
Оксикоричная	1262	3074	587	1022	575	1108
Кофейная	5169	3890	211	1572	3197	1546
Феруловая	206	422	69.2	162	1433	2970

Во всех образцах преобладают оксикоричная и кофейная кислоты. В душице обыкновенной, кроме указанных в таблице кислот, идентифицированы 3,4-дигидрокси- и 4-гидрокси-бензойные кислоты, содержание которых сравнимо с содержанием кофейной кислоты.

Разработанная методика дает возможность селективного определения фенольных кислот в экстрактах из растительных материалов на уровне 0.1–0.2 мкг/мл, масса навески образца, необходимая для анализа – 0.2–0.5 г, общая продолжительность анализа – 3 часа.

Исследование выполнено на базе ЦКП «Хроматография» и УНУ «Научная коллекция живых растений Ботанического сада ИБ Коми НЦ УрО РАН» (507428) в рамках государственного задания по теме «Репродуктивный потенциал ресурсных растений при интродукции на европейском Северо-Востоке» (122040600020-7).

ЛИТЕРАТУРА

Елин, Е. С. Фенольные соединения в биосфере / Е. С. Елин. – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения российской академии наук, 2001. – 386 с.

Николаева, Т. Н. Метод определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных экстрактах с реактивом Фолина-Дениса и реактивом Фолина-Чокальтеу: модификация и сравнение / Т. Н. Николаева, П. В. Лапшин, Н. В. Загоскина // Химия растительного сырья. – 2021. – № 2. – С. 291–299. doi:10.14258/jcrpm.2021028250.

ФИТОТОКСИЧЕСКОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ГЕРБИЦИДА СЕКАТОР® ТУРБО В ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ЧЕРНОЗЕМЕ НА СЕМЕНА ОДНОДОЛЬНЫХ И ДВУДОЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ

**Н. А. Герасимов*, К. Д. Валиахметова*, Г. Г. Багаутдинова*,
Р. А. Юлдашев**, А. М. Авальбаев**, О. В. Ласточкина****

*Уфимский университет науки и технологии

E-mail: nikita-g-2000@yandex.ru

**Институт биохимии и генетики Уфимского федерального
исследовательского центра Российской академии наук

Применение гербицидов является обязательным условием получения высоких и стабильных урожаев. В связи с этим наблюдается постоянное увеличение количества используемых гербицидов и поиск новых классов действующих веществ. Это закономерно сопровождается накоплением пестицидов в почве, проявляющимся в угнетающем действии на последующие культуры севооборота (Стецов, 2015; Спиридонов и др., 2019). Одним из классов гербицидов, для которых это особенно характерно являются производные сульфонилмочевины (Стецов, 2015; Спиридонов и др., 2019). Показано, что фитотоксическое последствие гербицидов класса сульфонилмочевин более продолжительно на почвах с щелочной средой, а также в условиях засухи (Спиридонов и др., 2019; Заргарян и др., 2020).

Между тем, класс производных сульфонилмочевин представлен несколькими десятками действующих веществ, особенности фитотоксического последствия некоторых из которых до сих пор недостаточно изучены. Одним из таких действующих веществ является йодосульфурон-метил-натрия, составляющий основу около 10 гербицидов, широко применяющихся в сельском хозяйстве.

Цель работы состояла в исследовании фитотоксического последствия гербицида класса сульфонилмочевин на основе йодосульфурон-метил-натрия в черноземе, выщелоченном на прорастание семян однодольных и двудольных растений.

Исследование фитотоксичности проводили согласно ГОСТ 33777-2016 «Вещества поверхностно-активные. Метод определения фитотоксичности на семенах высших растений». В качестве представителя однодольных растений был взят овес посевной сорта «Яков», в качестве представителя двудольных - редька масличная сорта «Тамбовчанка».

В работе использовали гербицид Секатор® Турбо (Bayer Crop Science, Германия) со следующими действующими веществами:

йодосульфуронметил-натрия (25 г/л), амидосульфурон (100 г/л) и антидот мефенпир-диэтил (250 г/л).

Гербицид вносили в чернозем, выщелоченный в диапазоне концентраций 1×10^{-1} – 1×10^{-11} мл/кг почвы и хранили образцы почвы при комнатной температуре, в темноте, в течение 6 месяцев, периодически перемешивая. Чернозем выщелоченный характеризовался следующими показателями: содержание гумуса – 8.7%; pH – 6.1; $N_{\text{общ}}$ – 2510 мг/кг; содержание подвижного P_2O_5 в пахотном слое – 1024 мг/кг.

Для приготовления почвенных растворов 20 грамм почвы растирали в ступке и просеивали через сито с диаметром пор 0.5 мм. Затем навеску растворяли в 100 мл дистиллированной воды, перемешивали в течение 5 минут и пропускали через фильтровальную бумагу.

Для исследования эффектов чистого гербицида семена высших растений проращивали на растворах гербицида в серии 10-кратных разведений: 1×10^{-1} – 1×10^{-11} мл/л среды инкубирования.

Контролем служили растения, проросшие на чистой водопроводной воде и растения, проросшие на почвенных растворах, приготовленных на основе чистого чернозема выщелоченного.

В первую очередь было исследовано влияние чистого гербицида в серии 10-кратных разбавлений на рост главного корня 3-суточных проростков овса и редьки. Показано, что присутствие гербицида во всех исследуемых концентрациях продолжало оказывать ингибирующий эффект на этот ростовой показатель у обеих культур. Причем, как и ожидалось, редька, как представитель двудольных, оказалась более чувствительна к действию гербицида в сравнении с овсом.

Далее было исследовано влияние почвенных растворов приготовленных на основе чистого чернозема на рост главного корня овса и редьки. Показано, что эти почвенные растворы обладали небольшим стимулирующим действием, выражающимся в превышении длины главного корня обеих культур на 10% относительно контрольных растений пророщенных на воде. Вероятно, это связано с присутствием в водных растворах гуминовых и фульвовых кислот, перешедших туда из чернозема выщелоченного.

Исследование фитотоксического действия почвенных растворов, приготовленных на основе почвы, содержащей гербицид, показало, что начиная с концентраций гербицида 1×10^{-4} – 1×10^{-5} мл/кг почвы, наблюдалось прекращение фитотоксического эффекта пестицида на рост главного корня овса и редьки. При этом необходимо отметить, что в диапазоне ингибирующих рост главного корня растений концентраций гербицида (1×10^{-1} – 1×10^{-3}

мл/кг почвы) терялась избирательность действия поллютанта в отношении двудольных растений и рост обеих культур одинаково угнетался.

Таким образом, полученные данные указывают на инактивацию гербицида Секатор Турбо черноземом выщелоченным. Однако этот процесс длительный, поскольку спустя полгода после внесения гербицида в почву и хранения ее при комнатной температуре продолжало наблюдаться фитотоксическое последствие гербицида. Кроме того, фитотоксическое последствие гербицида Секатор Турбо в черноземе выщелоченном характеризуется утратой избирательности действия в отношении двудольных растений, т.е. остатки гербицида в почве становятся одинаково фитотоксичными как для двудольных, так и для однодольных растений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 12-26-00076.

ЛИТЕРАТУРА

Заргарян, Н. Ю. Эффективность допосевого применения гербицидов и их фитотоксичность на выщелоченном чернозёме в Курганской области / Н. Ю. Заргарян, А. С. Филиппов, А. Ю. Кекало, В. В. Немченко, Т. А. Козлова // Вестник Курганской ГСХА. – 2020. – № 2(34). – С. 16–19.

Спиридонов, Ю. Я. Последствие гербицидов и динамика их разложения в различных агроландшафтах / Ю. Я. Спиридонов, Н. И. Будынков, Н. И. Стрижков, Н. Б. Суминова, Л. Б. Сайфуллина, Д. Р. Ленович, А. С. Султанов // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 4. – С. 27–31.

Стецов, Г. Я. Последствие гербицидов в Западной Сибири / Г. Я. Стецов // Защита и карантин растений. – 2015. – № 3. – С. 17–19.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ ПИЖМЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *TANACETUM VULGARE* L. В ПРОЦЕССЕ ВЕГЕТАЦИИ В СВЯЗИ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

А. В. Головин, Л. Н. Скрыпник

Институт медицины и наук о жизни Балтийского федерального университета
им. Иммануила Канта

E-mail: anton.golovin00@mail.ru

Листья пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) являются перспективным лекарственным растительным сырьем за счет относительно высоких содержаний фенольных соединений. Поскольку фитохимический состав морфолого-анатомических частей растений представляет собой динамический процесс, зависящий от многочисленных факторов, связанных как с самим растением, так и с окружающей средой, то важным в фармакогностических исследованиях становится изучение динамики изменения состава и содержания биологических активных веществ в процессе вегетации растений (Nurzyńska-Wierdak, 2023).

В связи с этим, целью исследования является рассмотрение сезонной динамики накопления фенольных соединений в листьях *T. vulgare* в процессе вегетации в связи с экологическими факторами.

В качестве объектов исследования выступали листья *T. vulgare*, собранные в период май–август 2022 года на площадке, расположенной на территории Калининградской области (55°24'34" с.ш., 20°32'04" в.д.). Листья подвергали высушиванию, измельчению и водно-этанольной экстракции. Экстракты использовали для определения суммарных содержаний фенольных соединений (Σ ФС), флавоноидов (Σ ФЛАВ), гидроксикоричных кислот (Σ ГКК) и содержания лютеолин-7-глюкозида (Л-7-Г), хлорогеновой кислоты (ХЛК), розмариновой кислоты (РозК) (Pungin et al., 2022). Значения метеорологических данных брались с <http://aisori-m.meteo.ru>.

Σ ФС варьировалось в диапазоне 28.28–34.96 мг/г (рис. 1А). Максимальные значения показателя достигались на стадиях появления соцветий (26.06.2022) и начала формирования семян (07.08.2022), однако переход между указанными стадиями характеризовался резким спадом Σ ФС (17.07.2022). Наблюдаемый эффект мог быть обусловлен минимальным количеством солнеч-

ных дней в данный период сбора (рис. 2Б) Известно, что увеличение количества солнечной инсоляции приводит к увеличению Σ ФС и наоборот (Cao et al., 2019).

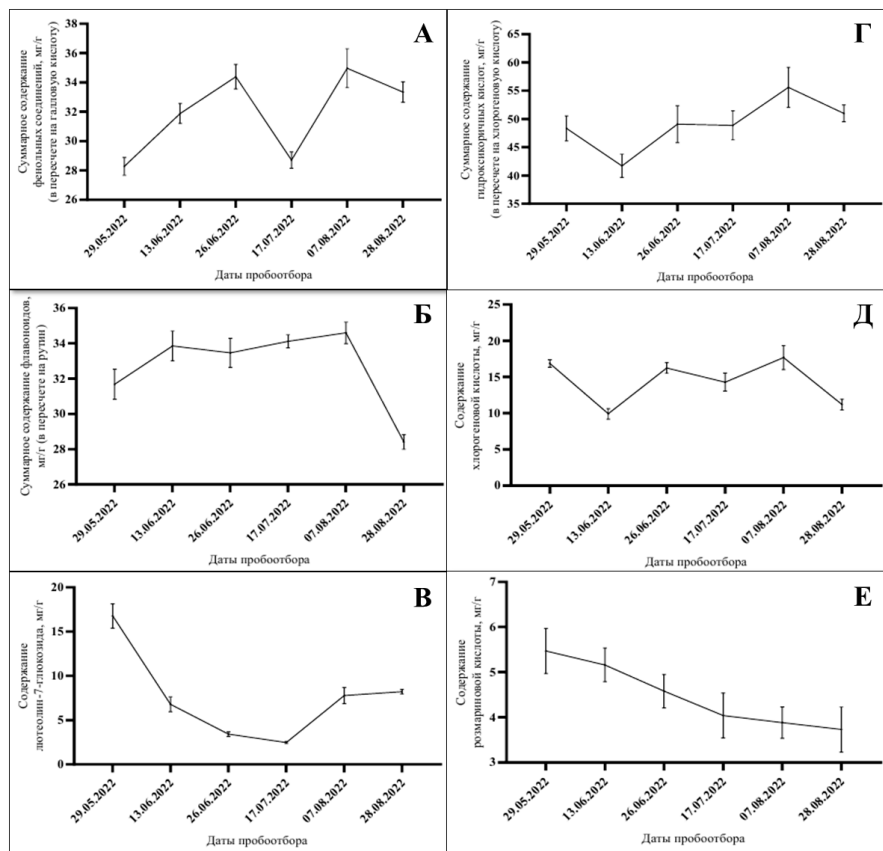


Рис. 1 Суммарное содержание фенольных соединений.

Σ ФЛАВ на стадиях, отвечающих сбору в период, середина июня – начало августа, достигало максимальных значений и оставалось статистически неразличимым (33.46–34.59 мг/г). Однако на стадии созревания семян (28.08.2022) наблюдалось его резкое снижение – в 1.2 раза по сравнению с максимумом. Учитывая, что период июль–август характеризовался как засушливый (рис. 2А), такое явление может объясняться как длительным воздействием засухи, так и снижением уровня солнечной инсоляции.

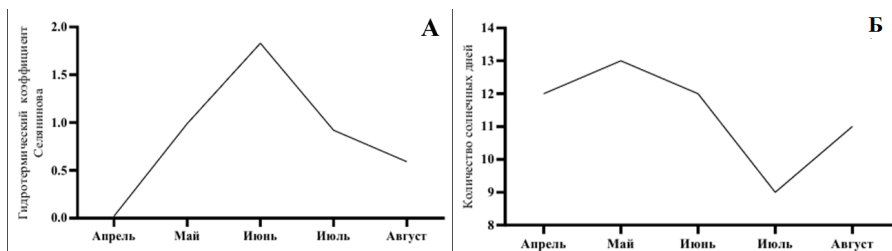


Рис. 2. Суммарное содержание флавоноидов.

Динамика изменения содержания Л-7-Г при сравнении с динамикой Σ ФЛАВ носила противоположный характер. Так, максимальное содержание Л-7-Г (16.77 ± 1.37 мг/г) было на стадии формирования главного стебля (29.05.2022). На дальнейших стадиях вегетации наблюдалось снижение его содержания, и минимальное значение достигалось на стадии цветения (17.07.2022). Воспользовавшись данными рис. 2Б, можно заметить, что динамика изменения содержания Л-7-Г обратно коррелирует с изменением количества солнечных дней в период вегетации растений.

Σ ГКК находилось в пределах от 41.71 до 51.00 мг/г (рис. 1Г). Минимальное содержание (41.71 ± 2.06 мг/г) было зафиксировано на стадии удлинения главного стебля (13.06.2022), а максимальное – на стадии развития семян (07.08.2022). Аналогичная тенденция наблюдалась и в динамике накопления ХЛК (рис. 1Д). При рассмотрении изменения количества солнечных дней (рис. 2Б) можно заметить тенденцию изменения показателей Σ ГКК и ХЛК ранее отмеченную для Л-7-Г.

В то же время максимальное содержание РозК (5.47 ± 0.50 мг/г) было зафиксировано на стадии удлинения стебля (29.05.2022), которое затем плавно снижалось и достигало минимума (3.73 ± 0.50 мг/г) на стадии зрелых семян (28.08.2022) (рис. 1Е).

Таким образом, максимальные содержания фенольных соединений (34.96 ± 1.33 мг/г), флавоноидов (34.59 ± 3.09 мг/г) и гидроксикоричных кислот (55.61 ± 3.53 мг/г) (в том числе и хлорогеновой кислоты (17.67 ± 1.66 мг/г)) достигаются на стадиях формирования генеративных органов. Однако содержание лютеолин-7-глюкозида в указанный период является минимальным. Важно, что в основном динамика накопления фенольных соединений в листьях *T. vulgare* связана с изменением таких климатических параметров, как количество солнечных дней и степень засухи (гидротермических коэффициент Селянинова).

ЛИТЕРАТУРА

Cao, Y. Seasonal variation in phenolic compounds and antioxidant activity in leaves of *Cyclocarya paliurus* (Batal.) Iljinskaja / Y. Cao, S. Fang, X. Fu, X. Shang, W. Yang // *Forests*. – 2019. – Vol. 10. – N 8. – P. 624. <https://doi.org/10.3390/f10080624>.

Nurzyńska-Wierdak, R. Phenolic Compounds from New Natural Sources — Plant Genotype and Ontogenetic Variation / R. Nurzyńska-Wierdak // *Molecules*. – 2023. – Vol. 28. – N 4. – P. 1731. <https://doi.org/10.3390/molecules28041731>.

Pungin, A. The Content of Certain Groups of Phenolic Compounds and the Biological Activity of Extracts of Various Halophyte Parts of *Spergularia marina* (L.) Griseb. and *Glaux maritima* L. at Different Levels of Soil Salinization / A. Pungin, L. Lartseva, V. Loskutnikova, V. Shakhov, O. Krol, E. Popova, A. Volodina // *Plants*. – 2022. – Vol. 11. – N 13. – P. 1738. <https://doi.org/10.3390/plants11131738>.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ХВОИ ДЕРЕВЬЕВ *PINUS SIBIRICA* В УСЛОВИЯХ ВЫСОТНОЙ ПОЯСНОСТИ ЗАПАДНОГО САЯНА

А. А. Калабина, Н. В. Пахарькова

Сибирский федеральный университет

E-mail: sipanna@yandex.ru; nina.pakharkova@yandex.ru

Уже довольно давно был поднят вопрос о том, как климатические изменения влияют на растения. Однако именно в последние годы становится все более очевидной важность влияния изменения климата на лесные экосистемы и адаптация этих экосистем к новым условиям среды обитания (Григорьев и др., 2019). Изменение климата приводит к сдвигам границ ареалов многих древесных растений, а площадь ареалов некоторых видов и вовсе сокращается. Наиболее заметны эти изменения у лесобразующих пород, произрастающих в условиях высотной поясности (Пахарькова, Масенцова, 2022). Глобальное потепление климата в этих широтах сочетается с появлением зимне-весенних оттепелей, которых раньше не было на этой территории. Некоторые древесные растения при потеплении выходят из зимнего покоя слишком рано, и это приводит к их гибели, а в летний период подвергаются сильной инсоляции, что приводит к ожогам хвои. Поэтому важно найти виды и отдельные особи хвойных деревьев наиболее устойчивых к изменению климата для того, чтобы в дальнейшем восстановить обезлесенные территории.

Данное исследование направлено на изучение фотосинтетической активности сосны сибирской, произрастающей в условиях высотной поясности, а также на выявление индивидуальных особенностей деревьев и их способности противостоять действию стресс-факторов.

На территории природного парка «Ергаки» была заложена трансекта от 52°50'14.6" N, 093°15'28.4" E до 52°50'40.4" N, 093°16'24.2" E, в окрестностях озера Ойского. Были установлены 4 пробные площади (ПП). Выбранные деревья были промаркированы. Высота над уровнем моря изменялась от 1455 м нум (ПП4) до 1636 м нум (ПП1) при этом наблюдался переход от пихтово-кедровых лесов к тундровым. Деревья на первой пробной площади были представлены стланиковой формой, на остальных пробных площадях это полноценные деревья со сформировавшейся кроной. В середине июля было собрано 240 побегов с 80 деревьев. Данные о скорости электронного транспорта были получены с помощью флуориметра JUNIOR-РАМ, а расчеты были проведены с помощью встроенного программного обеспечения.

Количественное определение пигментов проводили в этиловом спирте на спектрофотометре SPEKOL 1300 AnalytikJenna AG. При определении массы хвои ее доводили до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу. Также проводилось измерение длины хвои и ее количество. Полученные данные представлены в таблице.

Таблица

**Параметры двухлетней хвои деревьев *Pinus sibirica*,
произрастающих на пробных площадях**

Пробная площадь	ETR, отн. ед.	Сухая масса 20 хвоинок, г	Длина хвои, см	Коли- чество хвои на 1 см побега, шт	Содер- жание хлоро- филлов а+в, мг/г	Содер- жание кароти- ноидов, мг/г
ПП1	58.81±2.26	0.25±0.01	6.54±0.11	33.94±1.22	3.00±0.48	0.78±0.11
ПП2	69.56±1.82	0.27±0.01	6.95±0.08	39.81±1.54	4.10±0.80	0.93±0.08
ПП3	68.52±2.96	0.32±0.01	7.75±0.10	37.13±1.82	5.15±0.31	1.11±0.07
ПП4	67.95±2.75	0.30±0.01	7.76±0.13	35.05±1.41	5.09±0.55	1.09±0.11

Наименьшая скорость электронного транспорта наблюдается на первой пробной площади, которая является самой высокой над уровнем моря. Средние значения ETR на остальных пробных площадях в среднем близки к 70, что согласуется с литературными данными и соответствуют стадии активной вегетации (Бендер, 2022). Самая большая масса сухой хвои наблюдается на третьей пробной площади, наименьшая на первой. Длина хвои увеличивается с уменьшением высоты над уровнем моря от 6.5 см на верхней пробной площади до 7.8 см на нижней. Наименьшая масса хвои опять же оказалась на первой пробной площади, наибольшая – на четвертой. Однако масса хвои на ПП3 и ПП4 очень близки. Наибольшая охвоенность у деревьев со второй пробной площади, меньше всего хвои на ПП1.

При определении пигментного состава выяснилось, что наибольшее количество хлорофилла «а» и «b» содержится в хвое деревьев, произрастающих на ПП3 и ПП4, а наименьшее на ПП1. Изменение количества каротиноидов имеет ту же тенденцию, однако более информативно отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам. На ПП1 оно равно 3.8, на ПП2 – 4.4, на ПП3 и ПП4 – 4.6 и 4.7 соответственно. Мы видим, что доля каротиноидов в пигментном комплексе увеличивается с увеличением высоты над уровнем моря, что позволяет противостоять сильной инсоляции и избежать ожога хвои.

Исходя из всего вышеперечисленного, можно заключить, что максимальные значения изученных показателей отмечены для третьей пробной площади, где, по-видимому, оптимальные условия для произрастания *Pinus sibirica*. Экземпляры *Pinus sibirica*, произрастающие выше верхней границы леса и представленные стланниковыми формами, значительно отличаются от деревьев на остальных пробных площадях, как по морфологическим показателям (длина и масса хвои), так и по физиологическим и биохимическим параметрам (скорость транспорта электронов и пигментный состав клеток хвои), что свидетельствует о стрессовых условиях на первой пробной площади. Использованные параметры позволяют выделить более устойчивые и «успешные» экземпляры сосны сибирской даже на верхней пробной площади (ПП1) и могут быть использованы для фенотипирования *Pinus sibirica* и дальнейшей селекции.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ 23-24-00251 «Внутрипопуляционная изменчивость экофизиологических признаков деревьев сосны сибирской (Pinus sibirica Du Tour) в условиях изменения климата»

ЛИТЕРАТУРА

Бендер, О. Г. Сезонная динамика состояния фотосинтетического аппарата прямостоячих и стелющихся видов сосновых на примере *Pinus sibirica* и *P. pumila* / О. Г. Бендер // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2022. – Т. 21. – № 1. – С. 10–14. DOI:10.14258/pbssm.2022002. URL: <http://journal.asu.ru/bpssm/article/view/pbssm.2022002>.

Григорьев, А. Глобальное изменение климата и адаптация к нему лесного комплекса Северо-Западного федерального округа России: использование опыта Швеции и Финляндии / А. Григорьев, А. Щеголев, Д. Луговая // Устойчивое лесопользование. – 2019. – №2(58). – С. 28–33.

Пахарькова, Н. В. Сосна сибирская и пихта сибирская в условиях высотной поясности Южной Сибири и Алтая / Н. В. Пахарькова, И. В. Мясенцова // Интеграция науки и образования: современные проблемы, достижения и инновации в области экологии и устойчивого развития: материалы научной конференции; электронное издание, Красноярск, 01–03 ноября 2022 года / Сибирский федеральный университет. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022. – С. 85–87. – EDN MNSOWO.

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АБОРИГЕННЫХ ВИДОВ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

В. В. Мартынов

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

E-mail: martynov.v.v@ib.komisc.ru

Целлюлозосодержащие отходы являются дешевыми возобновляемыми источниками углерода и могут использоваться для получения полезных продуктов в ходе их утилизации (Niranjan et al., 2023). Биоконверсия целлюлозосодержащих отходов осуществляется целлюлазами – группой синергетических связанных ферментов, к которым относятся целлобиогидролазы (ЕС 3.2.1.91), эндоглюканазы (ЕС 3.2.1.4) и β -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21) (Singh et al., 2023). Большинство современных целлюлазных ферментных препаратов получают за счет сконструированных бактерий или актиномицетов. Однако целлюлазы полученные таким способом обладают низкой активностью, а так же находятся внутри клеток, что создает дополнительные затраты. Целлюлазы полученные из ксилотрофных базидиомицетов являются внеклеточными, что облегчает их получение и дальнейшее использование в производстве готовых препаратов (Ma et al., 2024).

Целлюлазы нашли широкое применение в различных областях промышленности: пищевой, химической и сельскохозяйственной. С учетом того, что целлюлаза активно применяется в бумажной промышленности для облегчения процесса варки целлюлозы, то разработка готовой формы фермента может стать перспективным импортозамещающим продуктом в производственном цикле АО «Сыктывкарский ЛПК».

Целью данной работы являлось исследование биотехнологического потенциала аборигенных штаммов ксилотрофных базидиомицетов при их культивировании на кородревесных отходах (КДО).

В работе использовали слаборазложившееся КДО с малым сроком хранения (2–5 лет). Образцы КДО отбирали на складе коры (м. Лесозавод, г. Сыктывкар, Республики Коми).

В качестве продуцентов ферментов использовали отобранные и введенные в культуру штаммы ксилотрофных базидиомицетов. Для них была дана морфологическая характеристика и проведена предварительная идентификация. В работе использовали два штамма: *Fomitopsis rosea* (Alb. & Schwein.) P. Karst. (Актуальное

название: *Rhodofomes roseus* (Alb. & Schwein.) Kotl. & Pouzar) и *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. Таксономия и номенклатура таксонов грибов приводится в соответствии с рекомендациями ресурса Index Fungorum (2008–2024).

Проводили глубинное культивирование при температуре 26 °С в течение 20 суток штаммов ксилотрофных грибов на КДО на модифицированной питательной среде. В качестве питательной среды использовали модифицированную среду, содержащую в качестве источника углерода КДО, с дополнением в виде источников азота ((NH₄)₂SO₄ и мочевины) и фосфора (KH₂PO₄), а так же микроэлементы (MgSO₄ × 7H₂O, ZnSO₄ × 7H₂O, MnSO₄ × 7H₂O, CaCl₂).

В ходе культивирования проводился отбор культуральной жидкости для последующего определения ферментативной активности: эндоглюканазной, целлюбиогидролазной и β-глюкозидазной активности по методике, описанной Полыгалиной с соавторами (2003).

Для статистической обработки использовали критерий Шапиро-Уилка и U-критерий Манна-Уитни, α=0.05. Все эксперименты проводись в трех повторениях.

Анализируя полученные результаты можно отметить высокую активность эндоглюканазы на 8 сутки у штамма *F. pinicola*. Так же наблюдается высокая целлюлазная активность штамма *F. rosea*, что отмечалось авторами ранее (Paramjeet et al., 2018). При этом можно отметить, что высокая активность ферментов наблюдается на большой срок культивирования (20 сутки). В связи с этим требуется оптимизации среды с целью уменьшения срока культивирования и достижения большей активности ферментов (табл).

Таблица

Целлюлазная активность штаммов, ед./г

Фермент	Период культивирования (сутки)				
	4	8	12	16	20
<i>Fomitopsis pinicola</i>					
Эндо	414.93 ^a	1821.55 ^b	393.03 ^c	161.68 ^d	86.71 ^e
Экзо	279.94 ^a	316.79 ^b	234.77 ^c	217.67 ^c	350.45 ^d
β	43.17 ^a	137.89 ^b	530.07 ^c	443.58 ^d	631.85 ^e
<i>Fomitopsis rosea</i>					
Эндо	509.82 ^a	428.99 ^b	623.79 ^c	890.16 ^d	1038.41 ^e
Экзо	236.15 ^a	275.52 ^b	372.88 ^c	457.68 ^d	865.24 ^e
β	30.38 ^a	327.11 ^b	540.98 ^c	844.77 ^d	1285.82 ^e

Работа выполнена при финансировании государственного задания Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук по теме «Научно обоснованные биотехнологии для улучшения экологической обстановки и здоровья человека на Севере» (№ 1021051101411-4-1.6.23).

ЛИТЕРАТУРА

Полыгалина, Г. В. Определение активности ферментов / Г. В. Полыгалина, В. С. Чередниченко, Л. В. Римарева // Справочник. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 375 с.

Ma, X. An overview on the current status and future prospects in *Aspergillus* cellulase production / X. Ma, S. Li, X. Tong, K. Liu // Environmental Research. – 2024. – Vol. 244. – N 1, 117866 14 p. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117866>.

Niranjan, K. Isolation, characterization and identification of cellulase (Endo- β -1,4-glucanase) producing bacteria from diverse locations / K. Niranjan, K. Ranganathan, N. Yapa // Current Scientia. – 2023. – Vol. 26. – N 01. – P. 92–106. <https://doi.org/10.31357/vjs.v26i01.6413>.

Paramjeet, S. Biofuels: Production of fungal-mediated ligninolytic enzymes and the modes of bioprocesses utilizing agro-based residues / S. Paramjeet, P. Manasa, N. Korrapati // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. – 2018. – Vol. 14. – P. 57–71. <https://doi.org/10.1016/j.cbab.2018.02.007>.

Singh, R. Prospects of microbial cellulase production using banana peels wastes for antimicrobial applications / R. Singh, A. Ali Saati, H. Faidah, F. Bantun, N. A. Jalal, S. Haque, A. Kumar Rai, M. Srivastava // International Journal of Food Microbiology. – 2023. – Vol. 388. – N 2. – 110069 8 p. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.110069>.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДОБРАБОТКИ МЕТИЛЖАСМОНАТОМ НА РОСТ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ, ИХ ПРОДУКТИВНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

И. А. Нилова, А. А. Игнатенко, Е. С. Холопцева

Институт биологии Карельского научного центра
Российской академии наук

E-mail: im-ira@mail.ru.

Метилжасмонат (МЖ) относится к фитогормонам и является одним из наиболее биологически активных производных жасмоновой кислоты. Он участвует в регуляции роста растений, индуцирует их защитные реакции в ответ на действие неблагоприятных факторов окружающей среды, а также играет важную роль в сигналинге (Wasternack, Hause, 2013). К относительно недорогим и эффективным способам, позволяющим улучшить посевные качества семян, оказать стимулирующее влияние на рост, развитие и устойчивость растений, относят обработку семян регуляторами роста, в том числе фитогормонами (Rhaman et al., 2021). Однако, что касается МЖ, то в известной нам литературе практически отсутствуют данные о том, влияет ли предобработка семян этим соединением на рост и фотосинтетическую активность, может ли она способствовать накоплению тех или иных макро- и микроэлементов, важных для роста и развития, и отражается ли это, в конечном итоге, на продуктивности растений.

В связи с этим, цель нашего исследования заключалась в изучении влияния предобработки семян МЖ на рост, устьичную проводимость, содержание хлорофиллов, интенсивность фотосинтеза и транспирации, продуктивность, а также на содержание макроэлементов (азота, фосфора и калия) и микроэлементов (цинка и меди) в корнях, побегах и семенах растений пшеницы.

Исследования проводили на растениях мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) ярового сорта Злата. Семена проращивали в лабораторных условиях в течение трех суток на дистиллированной воде (контроль) или в течение первых суток выдерживали на растворе МЖ (10 мкМ), затем отмывали от него и продолжали проращивать на дистиллированной воде (опыт). На третьи сутки проростки обоих вариантов (контроль и опыт) переносили в вегетационный домик и высаживали в сосуды с грунтом объемом 5 л. В предварительных опытах была подобрана наиболее оптимальная концентрация МЖ и длительность его воздействия. Содержание хлорофиллов и интенсивность фотосинтеза

были проанализированы на стадии кущения. Продуктивность, а также накопление макро- и микроэлементов в различных частях растений оценивались в конце вегетационного сезона.

Известно, что эффекты, которые оказывает жасмоновая кислота и ее производные на растения, во многом зависят от их концентрации и длительности воздействия. В связи с этим, в предварительных опытах мы оценивали влияние разных концентраций МЖ (0.001–10 мкМ) и разной длительности (3–24 ч) обработки этим соединением на энергию прорастания (на 3-е сут по количеству нормально проросших семян в % от общего количества) и линейные размеры корня и гипокотыля. Установлено, что обработка семян пшеницы МЖ в концентрациях 0.001, 0.01, 0.1 и 1 мкМ в течение 3, 6 и 24 ч, а также МЖ в концентрации 10 мкМ в течение 3 и 6 ч не влияла на энергию прорастания семян, длину корня и гипокотыля проростков. Тогда как, выдерживание семян в течение 24 ч в растворе МЖ в концентрации 10 мкМ приводило к повышению энергии прорастания семян примерно на 20%. В то же время, этот вариант обработки вызывал торможение роста корня и побега, что, вероятно, было проявлением известного свойства жасмонатов – ингибирования роста растения (Wasternack, Hause, 2013). В дальнейших вегетационных опытах мы использовали концентрацию МЖ – 10 мкМ и длительность обработки – 24 ч.

Показано, что ингибирующий эффект обработки семян МЖ на рост пшеницы нивелируется на стадии кущения: высота побега и площадь 3-го листа у растений, выращенных из обработанных семян, не отличались от контрольных. Обработка семян МЖ также не влияла на устьичную проводимость, содержание хлорофиллов в листьях, интенсивность фотосинтеза и транспирации.

Выдерживание семян в растворе МЖ приводило к снижению у растений количества колосков на главном и боковом колосьях в конце вегетационного сезона. Однако это повлияло только на количество невыполненных семян, которое также снизилось у растений, семена которых были обработаны МЖ. Количество выполненных семян, а также их биомасса не отличались у контрольных (без обработки семян МЖ) и опытных (с обработкой семян МЖ) растений.

Нами были получены данные, свидетельствующие о том, что предобработка семян МЖ изменяет содержание азота, фосфора и калия в корнях и побегах растений, но при этом не влияет на их содержание в семенах. Кроме того, в корнях опытных растений отмечено некоторое снижение содержания цинка по сравнению с этим показателем у контрольных растений. Содержание меди в корнях, побегах и семенах у контрольных и опытных растений не различалось. Отметим, что полученные нами данные о влиянии

жасмонатов на содержание макро- и микроэлементов согласуются с исследованиями других авторов (Kurowska et al., 2020; Bali, Sidhu, 2021).

В целом можно заключить, что предобработка семян пшеницы МЖ (10 мкМ в течение 24 ч.) повышает энергию прорастания семян, но оказывает ингибирующее действие на рост растений, находящихся на ранних этапах своего развития. На более поздних стадиях развития (кущение) ингибирующее действие МЖ на рост растений нивелируется. В конечном итоге, несмотря на некоторые изменения в накоплении макро- и микроэлементов в побегах и корнях, предобработка МЖ не влияет на продуктивность пшеницы.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания FMEN-2022-0004 на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельского научного центра Российской академии наук».

ЛИТЕРАТУРА

Bali, A. Arsenic acquisition, toxicity and tolerance in plants – From physiology to remediation: A review / A. Bali, G. P. S. Sidhu // Chemosphere. – 2021. – P. 283. 131050. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.131050.

Kurowska, M. M. Methyl jasmonate affects photosynthesis efficiency, expression of HvTIP genes and nitrogen homeostasis in barley / M. M. Kurowska, A. Daszkowska-Golec, M. Gajecka, P. Koscielniak, W. Bierza, I. Szarejko // Int. J. Mol. Sci. – 2020. – P. 21, 4335. doi:10.3390/ijms21124335.

Rhaman, M. S. Seed priming with phytohormones: an effective approach for the mitigation of abiotic stress / M. S. Rhaman, Sh. Imran, F. Rauf, M. Khatun, C. C. Baskin, Y. Murata, M. Hasanuzzaman // Plants. – 2021. – Vol. 10. – P. 37. doi:10.3390/plants10010037.

Wasternack, C. Jasmonates: biosynthesis, perception, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. An update to the 2007 review in Annals of Botany / C. Wasternack, B. Hause // Annals of Botany. – 2013. – Vol. 111. – P. 1021–1058. doi:10.1093/aob/mct067.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ В ПРОРОСТКАХ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПАРАКВАТА

Ю. Д. Осипова*, Е. В. Гармаш**

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

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

E-mail: garmash@ib.komisc.ru

В процессе эволюции у растений развились биохимические стратегии защиты от окислительного стресса, который является следствием накопления избыточного количества активных форм кислорода (АФК). Генерация АФК происходит, главным образом, в хлоропластах и пероксисомах, но в незеленых тканях АФК преимущественно образуется в митохондриях. Первичная антирадикальная защита включает нейтрализацию АФК антиоксидантной системой и быстрое использование O_2 в дыхательной электрон-транспортной цепи (ЭТЦ). В растительных митохондриях помимо основного цитохромного пути (ЦП) функционирует альтернативный путь транспорта электронов (АП) через терминальную альтернативную оксидазу (АОХ). АОХ принимает электроны непосредственно с пула убихинона на кислород, а энергия окисления убихинола преобразуется в тепло. Вовлечение АП поддерживает окислительно-восстановительное состояние ЭТЦ и предотвращает образование АФК.

Целью работы было исследовать дыхательную активность на уровне ткани и митохондрий, а также закономерности вовлечения АП на фоне изменения про-/антиоксидантного статуса листа этиолированных проростков пшеницы в норме и при стрессе, вызванном воздействием прооксиданта – гербицида параквата (Пк).

Объектом являлись 5-дневные этиолированные проростки пшеницы, выращенные в темноте, в контроле – необработанные, а в опыте – срезанные этиолированные побеги, выдержанные в течение трех часов в 10 мкМ и 100 мкМ растворе Пк. Митохондрии выделяли из побегов проростков при помощи дифференциального центрифугирования (Побежимова и др., 2004). Получали грубую фракцию митохондрий. Суспензию митохондрий (≈ 10 – 11 мг белка/мл) хранили на льду и использовали для определения их активности. Дыхание проростков и окислительную активность изолированных митохондрий на разных субстратах изучали полярографическим методом с использованием системы «Hansatech». Для изучения активности дыхательных путей использовали специфические ингибиторы – (KCN – для ингибирования ЦП,

бензгидроксамовую кислоту, БГК – для ингибирования АП) (Gar-mash et al., 2015). Экспрессию генов АОХ определяли методом ПЦР с этапом обратной транскрипции и разработанными прай-мерами, количество белка АОХ – методом вестерн-блоттинга с использованием коммерческих антител к АОХ. Активность СОД, гваяколпероксидазы, каталазы – методом нативного электрофореза. Содержание супероксидрадикала, пероксида водорода и перекисного окисления липидов (ПОЛ) – показателей, отражающих уровень окислительного стресса, в тканях проростков определяли спектрофотометрически.

При действии Пк в разных дозах содержание супероксидрадикала не изменялось, но концентрация перекиси и уровень ПОЛ возрастали при увеличении дозы Пк. Известно, что Пк индуцирует генерацию супероксидного радикала. Супероксид быстро дисмутируется с помощью супероксиддисмутазы (СОД) с образованием перекиси, которая затем восстанавливается пероксидазами и каталазой до воды.

При более высокой концентрации Пк усиливалась как активность митохондриальной Мп-СОД, так и ферментов нейтрализации перекиси до воды – гваяколпероксидазы и каталазы. Активация Мп-СОД свидетельствовала о том, что митохондрии в условиях стресса являлись основным источником супероксидрадикала, эффективно нейтрализуемого данной формы.

При этом экспрессия генов антиоксидантных ферментов была, как правило, выше при низкой дозе Пк, а при высокой дозе, наоборот, – относительное количество транскриптов было значительно ниже. При высокой дозе Пк несоответствие активации фермента пониженному уровню экспрессии кодирующего его гена может быть связано с более ранним характером экспрессии генов.

Растения на уровне дыхания по-разному реагировали на действие низкой и высокой дозы Пк. При низкой дозе Пк интенсивность дыхания снижалась за счет уменьшения доли основного цитохромного пути, но происходило вовлечение АП, доля которого возрастала от 20 до 40% от общего дыхания. Воздействие Пк в дозе 100 мкМ приводило, напротив, к существенному увеличению дыхательной активности листа как за счет вовлечения цитохромного так и альтернативного пути. Относительная доля АП варьировала в пределах 20% от общего дыхания.

Изолированные из проростков пшеницы митохондрии показывали схожую реакцию на действие Пк. При действии 10 мкМ Пк скорость окисления субстратов – малата и сукцината (в присутствии глутамата) – была несколько ниже, а при 100 мкМ – существенно выше, чем в контроле. Активность цитохромоксидазы при низкой дозе снижалась, а при высокой – увеличивалась. При этом потенциальная активность АОХ, которую оценивали как

часть дыхания в состоянии 4, ингибируемого БКГ в присутствии KCN, в митохондриях при действии Пк в обеих дозах была выше, чем в контроле. Вместе с тем, количество белка АОХ при высокой дозе Пк было заметно выше, чем в контроле и при низкой дозе Пк, а экспрессия гена АОХ1а возрастала только при низкой дозе Пк. Низкий уровень количества транскриптов АОХ1а при действии высокой дозы Пк также можно объяснить более ранней реакцией на уровне экспрессии гена (этот вопрос требует дополнительных исследований).

Таким образом, реакция растений после 3 ч действия Пк в низкой дозе индуцировала вовлечение АП, коррелирующее с усилением экспрессии АОХ1а, а также генов антиоксидантных ферментов, что было эффективно для защиты от окислительного стресса. При действии высокой дозы Пк происходила одновременно активация общего дыхания и антиоксидантных ферментов. Увеличение интенсивности дыхания по ЦП и АП, по-видимому, было связано с энергозависимыми процессами репарации окислительных повреждений и поддержанием энергетического баланса при стрессе. Усиление активности систем нейтрализации перекиси полностью не могло защитить клетки от окислительного стресса, вызванного действием высокой дозы Пк, о чем свидетельствовало увеличение в них уровня перекиси и ПОЛ. В целом, результаты свидетельствуют о скоординированном функционировании системы антиоксидантной защиты, важной частью которого является альтернативная оксидаза митохондрий.

Работа выполнена в рамках темы государственных бюджетных НИОКТР «Фотосинтез, дыхание и биоэнергетика растений и фототрофных организмов (физиолого-биохимические, молекулярно-генетические и экологические аспекты)», №122040600021-4.

ЛИТЕРАТУРА

Побежимова, Т. П. Методы изучения митохондрий растений. Полярграфия и электрофорез / Т. П. Побежимова, А. В. Колесниченко, О. И. Грабельных / Отв. ред. Р. К. Салаяев. – Москва: ООО «НПК «ПРОМЭКОБЕЗОПАСНОСТЬ», 2004. – 98 с.

Garmash, E. V. Light regulation of AOX pathway during greening of etiolated wheat seedlings / E. V. Garmash, O. I. Grabelnych, I. O. Velegzhaninov, O. A. Borovik, I. V. Dalke, V. K. Voinikov, T. K. Golovko // J. Plant Physiol. – 2015. – V. 174. – P. 75–84.

ВЛИЯНИЕ УФ-РАДИАЦИИ НА ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ КЛЕТОК МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *CHLOROMONAS RETICULATA* И *MYCHONASTES FRIGIDUS*

В. С. Паршуков*, Е. Н. Тараканова**, И. Н. Новаковская*, О. В. Дымова*

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

Email: parshukov@ib.komisc.ru; dymovao@ib.komisc.ru

Email: novakovskaya@ib.komisc.ru

**Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

Email: tarakah.mor@gmail.com

Криотолерантные микроводоросли (МВ) часто встречаются в высокогорных и полярных экосистемах, в вечных снегах или горных ручьях, и адаптировались к суровым условиям окружающей среды, где преобладают экстремальные температурные режимы, высокая освещенность и ультрафиолетовая (УФ) радиация, низкий уровень питательных веществ. Целью работы было изучить комплексное влияние низкой положительной температуры, среднего уровня освещенности и УФ-радиации на пигментный состав клеток двух видов МВ – *Chloromonas reticulata* и *Mychonastes frigidus* при культивировании в лабораторных условиях. Предполагаем, что их биомасса является источником многих ценных компонентов, включая пластидные пигменты и вторичные каротиноиды (ВКар), которые обладают высокой антиоксидантной активностью. При УФ-облучении возможно компенсаторное увеличение синтеза каротиноидов (Кар), которые предотвращают окислительный стресс.

В качестве объектов использованы: штамм *Chloromonas reticulata* (SYКОА Ch-054-11), водоросль была выделена с поверхности снега на ПУ (65°13'45.5" N, 60°13'19.4" E) (Novakovskaya et al., 2018); штамм *Mychonastes frigidus* (SYКОА Ch-111-18), водоросль была найдена на дне горного ручья на ПУ в национальном парке «Югыд ва» (65°12'48" N, 60°16'04" E) (Patova et al., 2021). С культурой клеток *Ch. reticulata* и *M. frigidus* был проведен эксперимент. Культивирование проводили в конических колбах объемом 0.25 л на питательной среде BG-11 (Andersen, 2005). Вначале клетки культивировали при температуре 22–25 °С и освещенности 50 мкМоль/м²с. Далее в течение месяца продолжали выращивание при температуре 6 °С, освещенности 250 мкМоль/м²с, с постоянным поступлением углекислого газа. Спустя месяц при тех же условиях был добавлен источник УФ-излучения с применением УФ-лампы интенсивностью УФ-А 2 т/м², УФ-Б (280–315 нм) 0.05 Вт/м². На протяжении трех недель периодически проводили УФ-облучение в течение 12 ч в

сутки. Суммарный накопительный УФ-эффект составил ≈ 2.66 МДж/м². Хлорофиллы (Хл) и Кар определяли методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ); пигменты экстрагировали с использованием диметилсульфоксида (ДМСО) (Дымова и др., 2020). Подсчет числа клеток в суспензии МВ проводили с помощью камеры Горяева.

Хроматографический анализ показал (табл. 1), что в условиях пониженной температуры, освещенности 250 мкМоль/м²с и воздействии УФ-радиации наблюдали накопление концентрации Хл в клетках *Ch. reticulata*, что говорит о росте биомассы и подтверждается увеличением числа клеток в биомассе этой водоросли. Сходный эффект по влиянию сочетанного действия низкой температуры и УФ-радиации наблюдали с клетками штамма *M. frigidus*, число которых возрастало, также как и количество Хл. У *Ch. reticulata* в варианте с УФ отмечено уменьшение содержания суммы Кар на 30%.

Таблица 1

Влияние УФ-радиации на число клеток (млрд. кл/л), содержание хлорофиллов и каротиноидов (мг/г сух. м.) в биомассе *Chloromonas reticulata* и *Mychonastes frigidus*

Виды	Вариант	Число клеток	Хлорофилл	Каротиноиды
<i>Chloromonas reticulata</i>	I	0.8	1.50±0.06 ^a	4.26±0.09 ^b
	II	2.1	17.55±0.22 ^b	2.99±0.22 ^a
<i>Mychonastes frigidus</i>	I	0.7	2.21±0.33 ^a	0.62±0.08 ^a
	II	1.3	16.33±1.58 ^b	2.12±0.06 ^b

Примечание: I – контроль (22-25 °C, 50 мкМоль/м²с), II – опыт (6 °C, 250 мкМоль/м²с, УФ-А 2 Вт/м², УФ-Б 0.05 Вт/м²). Разные надстрочные символы (a, b, c, d) обозначают статистическую значимость изменений параметра (ANOVA, тест Дункана, $P < 0.05$).

В клетках *Ch. reticulata* были идентифицированы β-каротин и ксантофиллы: неоксантин (Нео), виолаксантин (Вио), антраксантин (Ант), лютеин (Лют) и зеаксантин (Зеа). Также был идентифицирован пик ВКар – астаксантина (Аст). По сравнению с *Ch. reticulata*, в клетках *M. frigidus* Аст не обнаружен (табл. 2).

Таблица 2

Содержание каротиноидов в *Chloromonas reticulata* и *Mychonastes frigidus*, %

Виды	Вариант	Нео	Вио	Аст	Ант	Лют	Зеа	β-кар
<i>Chloromonas reticulata</i>	I	16 ^a	10 ^a	1 ^a	2 ^a	45	11 ^a	16 ^a
	II	11 ^b	11 ^b	2 ^a	3 ^a	28 ^a	13 ^b	32 ^b
<i>Mychonastes frigidus</i>	I	7 ^a	4 ^b	–	4 ^b	60 ^b	11 ^a	13 ^b
	II	7 ^a	4 ^a	–	3 ^a	46 ^a	30 ^b	10 ^a

Примечание: обозначения как в табл.1; прочерк означает отсутствие пигмента.

Небольшие дозы УФ в сочетании с фотосинтетически активной радиацией (ФАР) при пониженной температуре во время роста популяции клеток *Ch. reticulata* и *M. frigidus* активизировали компенсаторные фотозащитные механизмы автотрофных одноклеточных водорослей, что предполагает синтез Кар. Так, в условиях эксперимента в культуре клеток *M. frigidus* возрастало относительное содержание Зеа (от 11 до 30%), который синтезировался из β -кар, о чем свидетельствует его достоверное снижение (с 13 до 10%). В клетках *Ch. reticulata* при тех же условиях эксперимента происходило увеличение ВКар – Аст, который выступал в качестве защитного пигмента при стрессе.

Заключили, что под влиянием УФ-радиации при низкой температуре и освещенности 250 мкмоль/м²с происходит активное нарастание биомассы штаммов *Ch. reticulata* и *M. frigidus*. Сравнительный анализ показал, что при культивировании под влиянием УФ-радиации происходит синтез Зеа (у *M. frigidus*) и ВКар – Аст (у *Ch. reticulata*). Эти пигменты обеспечивают защиту фотосинтетического аппарата от повреждения. Наблюдаемый эффект лежит в основе направленного культивирования МВ.

Финансирование исследований осуществлялось из средств федерального бюджета (№ № 122040600021-4 и 122040600026-9).

ЛИТЕРАТУРА

Novakovskaya, I. V. Molecular phylogenetic analyses, ecology and morphological characteristics of *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi which causes red blooming of snow in the Subpolar Urals / I. V. Novakovskaya, E. N. Patova, O. N. Boldina, A. D. Patova, D. M. Shadrin // Cryptogamie, Algologie. – 2018. – Vol. 39. – № 2. – P. 199–213.

Patova, E. N. *Mychonastes frigidus* sp. nov. (Sphaeropleales/Chlorophyceae), a new species described from a mountain stream in the Subpolar Urals (Russia) / E. N. Patova, I. V. Novakovskaya, Martynenko N. Martynenko, E. Gusev, M. Kulikovskiy // Fottea, Olomouc. – 2021. – Vol. 21(1). – P. 8–15.

Andersen, R. A. Algal Culturing Techniques / R. A. Andersen. – Elsevier: New York, NY, USA. – 2005. – 589 p.

Дымова, О. В. Влияние света и температурного режима на содержание каротиноидов в клетках микроводоросли *Chloromonas Reticulata* (Goroschankin) Gobi / О.В.Дымова, И. В. Новаковская, Е. Н. Патова, Д. А. Постельный, А. А. Петухов // Биомика. – 2020. – Т. 12. – № 3. – С. 359–366. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2020-24.

ВЛИЯНИЕ КОРОТКИХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ МИКРОЗЕЛЕНИ СЕМЕЙСТВА *BRASSICACEAE*

А. А. Рубаева, Е. Г. Шерудило, Т. Г. Шибаева

Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук

E-mail: arubaeva@krc.karelia.ru

Наиболее перспективными для повышения энергоэффективности производства на «фабриках растений» с искусственным освещением и улучшения качества растительной продукции считаются манипуляции со световым фактором, с которым связаны основные затраты на энергопотребление (Despommier, 2010). У светового фактора есть три составляющие, оказывающие существенное влияние на жизнедеятельность растений – интенсивность света, фотопериод и спектральный состав света. В многочисленных исследованиях, направленных на повышение эффективности «фабрик растений», доминируют работы, связанные с поиском наиболее оптимальных световых режимов через подбор интенсивности освещения и спектрального состава света для выращивания конкретных культур. Однако в настоящее время имеется крайне мало работ, посвященных изучению влияния распределения интеграла дневного освещения (ИДО) во времени на растения. При этом распределение ИДО в условиях искусственного освещения не обязательно должно учитывать 24-часовую продолжительность суток и может быть реализовано в рамках аномальных (отличных от 24 часов) свето-темновых циклов, которые могут быть как длиннее, так и короче 24 часов. Учитывая большую вариативность данного показателя, нетрудно предположить, что распределение света в течение времени может открыть новые возможности для решения ключевых задач – снижения затрат на единицу продукции и повышения пищевой ценности растений. В связи с этим нами было проведено исследование влияния коротких свето-темновых циклов на продуктивность и пищевую ценность микрозелени семейства *Brassicaceae*.

Микрозелень – молодые побеги овощных культур и трав, представляющие новейший тренд мирового растениеводства. Она оказывает благоприятное воздействие на здоровье человека, т.к. имеет высокую концентрацию питательных веществ и антиоксидантов (аскорбиновой кислоты, полифенолов, каротиноидов) по сравнению со взрослыми растениями. Поэтому микрозелень считают «функциональным продуктом» для здорового питания (Treadwell et al., 2020).

Объектами исследования служили 3 вида растений семейства *Brassicaceae* – брокколи (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck), мизуна (*Brassica rapa* ssp. *nipposinica* (L.H.Bailey) Hanelt) и рукола (*Eruca vesicaria* ssp. *sativa* (Mill.) Thell.). Растения выращивали на 50% питательном растворе Хогланда-Арнона (рН – 6.2–6.4) в климатической камере при постоянных условиях среды: температура воздуха +22 °С, относительная влажность 60%, освещенность 100 мкмоль/(м²с) ФАР. Источниками света служили светодиодные светильники GL V300 («LED Grow Light», КНР). После проращивания в темноте в течение 4 суток, растения подвергали воздействию разных свето-темновых циклов – 12/12 ч (контроль), 6/6 ч и 3/3 ч. ИДО был одинаковым во всех вариантах опыта – 6.48 моль/(м²сут). Микрозелень анализировали на 12 день после посева, при появлении первого настоящего листа. У растений измеряли длину гипокотыля и первого настоящего листа, сырой и сухой вес побегов. Величину LMA (от англ. leaf mass per area) рассчитывали как отношение сухой массы высечек листовой пластинки к их площади. Индекс робастности (от англ. robust – крепкий), который служит критерием качества микрозелени, рассчитывали как отношение произведения сухого веса побега и толщины гипокотыля к длине гипокотыля. Содержание пигментов (хлорофилл, каротиноиды, антоцианы и флавоноиды), перекиси водорода, малонового диальдегида, пролина, растворимых углеводов, белка и активность ферментов антиоксидантной системы (каталаза, супероксиддисмутаза, аскорбатпероксидаза, гваякол пероксидаза) определяли спектрофотометрическим методом.

Полученные результаты показали, что короткие свето-темновые циклы не оказали значимого влияния на биометрические показатели микрозелени, но наблюдалась тенденция к увеличению сухой биомассы побегов у брокколи (в условиях циклов 6/6 ч и 3/3 ч на 5 и 12%) и руколы (в условиях циклов 6/6 ч и 3/3 ч на 29 и 24%). При этом в условиях коротких циклов растения имели меньшую высоту. Также, у руколы отмечено увеличение удельного веса листа на 16% в условиях цикла 3/3 ч. Индекс робастности в условиях коротких свето-темновых циклов превышал контрольные значения у всех культур. В условиях коротких циклов, отмечено значимое увеличение скорости развития растений, которую оценивали по длине первого настоящего листа.

Короткие свето-темновые циклы привели к увеличению содержания хлорофилла и каротиноидов (у всех объектов в условиях цикла 6/6 ч происходило увеличение содержания хлорофилла на 10–27% и каротиноидов на 12–32%, соответственно). В содержании антоцианов и флавоноидов не произошло значительных закономерных изменений.

Из данных по содержанию перекиси водорода, малонового диальдегида и пролина, следует, что в условиях коротких циклов растения испытывали легкий окислительный стресс, либо не испытывали его совсем. Заметного увеличения активности ферментов антиоксидатной системы не отмечалось, за исключением каталазы (в условиях цикла 6/6 ч на 31%) и аскорбатпероксидазы (в условиях циклов 6/6 ч и 3/3 ч на 102 и 72%) у брокколи, а в каких-то случаях активность ферментов падала. Возможно, это вызвано тем, что аномальные циклы приводят к циркадной асинхронии, что может нарушать некоторые физиологические процессы в растениях.

Расчеты затрат на электроэнергию, проведенные с учетом тарифа, дифференцированного по трем зонам суток, показали, что свето-темновой цикл 6/6 ч обладает преимуществом в плане энергоэффективности, экономя 7%, а цикл 3/3 ч является экономически невыгодным, увеличивая затраты по сравнению с циклом 12/12 ч на 9% при условии, что при цикле 12/12 ч освещение происходит преимущественно в ночное время.

Таким образом, результаты наших исследований показали, что короткие аномальные свето-темновые циклы 6/6 ч и 3/3 ч оказывают заметное влияние на рост и развитие растений брокколи, мизуны и руколы, несмотря на то что суммарное количество радиации, полученное растениями, не отличалось от контрольного варианта 12/12 ч. В условиях коротких свето-темновых циклов у всех исследованных видов отмечено увеличение индекса робастности и ускорение развития. Кроме того, установленное в данном случае увеличение содержания хлорофиллов, каротиноидов и пролина повышает пищевую ценность микрозелени, которую можно использовать в качестве функционального продукта («functional food») для здорового питания. При этом в реакции растений на аномальные свето-темновые циклы выявлена определенная видовая специфичность. Учитывая полученные результаты и расчеты затрат на электроэнергию, свето-темновой цикл 6/6 ч обладает явными преимуществами по сравнению с циклом 3/3 ч.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

ЛИТЕРАТУРА

Despommier, D. The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century / D. Despommier. – Thomas Dunne Books: New York, NY, USA, 2010.

Treadwell, D. D. Microgreens: A new specialty crop / D. D. Treadwell, R. Hochmuth, L. Landrum, W. Laughlin // Univ. Florida IFAS Ext. Bul. – 2020. – HS1164.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ФУНКЦИЙ TRF-БЕЛКОВ РАСТЕНИЙ

А. В. Санникова*, М. Р. Шарипова*, Е. В. Шакиров***, Л. Р. Валева***

*Институт фундаментальной медицины и биологии
Казанского федерального университета
E-mail: anastasya.sannikova@bk.ru

***Marshall University, Huntington, West Virginia, USA

Теломеры представляют собой особые нуклео-протеиновые структуры на концах линейных хромосом большинства эукариот, основой которых является теломерная ДНК из тандемных повторов (TTAGGG) $_n$ у позвоночных животных и (TTTAGGG) $_n$ у большинства растений. Основная функция теломер состоит в защите геномной ДНК от действия экзонуклеаз, системы репарации и хромосомных aberrаций; кроме того, они выступают в качестве буферной ДНК, обеспечивая сохранность остального генома во время репликации при делении клетки. Защитные функции теломер возможны благодаря совместному действию многочисленных белков, связывающихся с теломерной ДНК. Одними из таких белков являются TRF-белки. Они обнаружены в клетках млекопитающих, дрожжей и человека, что указывает на высокую консервативность данного комплекса. В клетках растений также были обнаружены гомологи TRF-белков, которые назвали TRFL (TRF-Like). Однако растительные TRFL-белки были лишь частично изучены на модельном растении *Arabidopsis thaliana*, в геноме которого было обнаружено 12 генов – паралога TRFL (Shakirov, 2008). Наличие паралога генов указывает на возможную эволюцию данных белков у растений и наличие у них новых неканонических функций. Однако подобная избыточность TRFL-генов у *A. thaliana* усложняет изучение функции данных белков. В своей работе мы используем новый уникальный модельный объект для изучения эволюции теломер растений – печеночник *Marchantia polymorpha*. Важной эволюционной особенностью *M. polymorpha* является медленная эволюция генома, за счет жизненного цикла, в котором гаплоидный гаметофит преобладает над диплоидным спорофитом, а также менее избыточный геном, за счет отсутствия недавних или древних дупликаций (WGD) (Bowman, 2017).

Целью работы было получение мутантных растений модельного организма *M. polymorpha* по генам TRFL, определение длины их теломер, а также идентификация других фенотипических изменений. Биоинформационный анализ генома показал наличие 4 паралога гена TRFL у *M. polymorpha* (TRB1, TRB3, TBP1, TRFL6), что значительно упрощает получение нокаутированных

растений по генам – кандидатам. В работе были использованы две линии печеночника *M. polymorpha* Takaragaike-1 (Tak-1, мужское растение) и Takaragaike-2 (Tak-2, женское растение). Показывание генов проводили методом CRISPR/Cas9 редактирования генома (Sugano et al., 2018). Наличие мутации подтверждали секвенированием. Для анализа длины теломер использовали геномную ДНК, выделенную из 14-21 дневного таллома маршанции. Анализ длины теломер проводили методом TRF (Terminal Restriction Fragment analysis) совместно с Саузерн-блот анализом (Nigmatullina, 2016). Расчет средней длины теломер проводили с помощью программы TeloTool (Göhring, 2014).

Нами было показано, что длина теломер дикого типа *M. polymorpha* различается между мужским (Tak-1) и женским (Tak-2) растением почти в 800 п.о. Длина теломер в Tak-1 составила ~3000 п.о., длина теломер в Tak-2 составила ~2200 п.о. Что может быть связано с различающимися факторами транскрипции на половых хромосомах. Помимо этого, мы установили наличие специфических внутрихромосомных теломерных последовательностей (ITS), которые отличались своим расположением внутри Tak-1 и Tak-2. Данные ITS не являются характерными для растительного царства и ранее не были обнаружены в покрытосеянном модельном растении *A. thaliana*, однако подобные ITS встречались в других бриофитах таких как: *Physcomitrium patens*, *Sphagnum fallax* и *Ceratodon purpureus*, что может быть связано с их древним происхождением (Valeeva, 2024).

Нами были получены растения-одиночные мутанты по генам MrTRFL6, MrTRB1 и ТВР1, а также растение-двойной мутант по генам MrTRFL6 и MrTRB1. Было показано, что мутантное растение ΔMrTRFL6 имеет более короткую длину теломер ~1800 п.о., чем растения дикого типа, длина теломер которого составляла ~2200 п.о., что говорит о том, что белок TRFL6 является позитивным регулятором длины теломер. Длина теломер в мутантном растении ΔMrTRB1 также оказалась короче по сравнению с диким типом (~3000 п.о.) и составила ~2700 п.о., что говорит о том, что белок MrTRB1 тоже является позитивным регулятором длины теломер в *M. polymorpha*.

Мутантные растения по генам MrТВР1 и MrTRB1 имели дефекты роста ткани таллома на начальном этапе своего развития. Двойные мутанты по генам MrTRFL6 и MrTRB1 имели замедленный рост и дефект в развитии таллома, что указывает на то, что TRFL-белки *M. polymorpha* могли расширить свои функции и отвечают не только за гомеостаз длины теломер растений, но и могут выполнять функции регуляторных белков, отвечающих за развитие таллома печеночника.

Таким образом, мы установили, что *M. polymorpha* имеет внутривидовое различие в длине теломер. Белки MrTRFL6 и

MrTRV1 являются положительными регуляторами длины теломера, но также необходимы для нормального развития таллома растений. В дальнейшем мы планируем более детальное изучение функций TRFL белков в печёночнике *M. polymorpha*, включая получение нокаутов по всем четырем генам *MrTRFL* и изучение неофункционализации данных генов.

Работа выполнена в рамках Программы стратегического академического лидерства Казанского федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

ЛИТЕРАТУРА

Bowman, J. L. Insights into Land Plant Evolution Garnered from the *Marchantia polymorpha* Genome / J. L. Bowman // Cell. – 2017. – Vol. 171. – P. 287–304.

Göhring, J. Göhring TeloTool: a new tool for telomere length measurement from terminal restriction fragment analysis with improved probe intensity correction / J. Göhring, N. Fulcher, J. Jacak, K. Riha // Nucleic Acids Res. – 2014. – Vol. 42.

Nigmatullina, L. R. Non-Radioactive TRF Assay Modifications to Improve Telomeric DNA Detection Efficiency in Plants / L. R. Nigmatullina, M. R. Sharipova, E. V. Shakirov // BioNanoScience. – 2016. – Vol. 6. – P. 3–5.

Shakirov, E. V. Analysis of *Carica papaya* Telomeres and Telomere-Associated Proteins: Insights into the Evolution of Telomere Maintenance in Brassicales / E. V. Shakirov, S. L. Salzberg, M. Alam, D. E. Shippen // Trop Plant Biol. – 2008. – Vol. 1. – P. 202–215.

Valeeva, L. R. Telomere Length Variation in Model Bryophytes / L. R. Valeeva, A. V. Sannikova, N. R. Shafigullina, L. R. Abdulkina, M. R. Sharipova, E. V. Shakirov // Plants. – 2024. – Vol. 13. – P. 387.

СОДЕРЖАНИЕ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ЛИСТЯХ И ПЛОДАХ УНАБИ (*ZIZYPHUS JUJUBA* MILL.) В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРИЙ АДЫГЕИ

К. И. Семененко

Адыгейский государственный университет

E-mail: kristina.semenenko2016@mail.ru

Антиоксиданты играют важную роль в регуляции протекания свободно-радикальных превращений в организме, существенно влияя на его состояние. Многие растения содержат вещества, обладающие антиоксидантной активностью, и введение в ежедневный рацион продуктов растительного происхождения, богатых данными соединениями может существенно снизить риск развития сердечно-сосудистых, онкологических и других заболеваний (Шарафутдинова, 2011).

В этом плане одним из перспективных растений является субтропическая культура унаби – *Zizyphus jujuba* Mill. (зизифус настоящий, китайский финик) из семейства крушиновых. В мировом плодоводстве это древнейшее растение, известное на родине, в Китае, более 4000 лет. Зизифус настоящий сравнительно нетребователен к условиям произрастания, характеризуется высоким адаптивным потенциалом и интродуцирован в разнообразных климатических условиях: сухих субтропиков (Крым, Южный Дагестан), влажных субтропиков (Сочи), степей Поволжья, Прикубанской зоны плодоводства (Краснодарский край), предгорий (Адыгея). Растения переносят понижения температуры до -24.8 °C без повреждений, обладают глубоким покоем и не реагируют на зимние оттепели, не подвержены весенним возвратным заморозкам благодаря длительному периоду покоя, хорошо переносят длительные летние засухи с повышением температуры воздуха до $+37.3$ °C. В условиях предгорий Адыгеи не выявлено повреждение унаби вредителями и болезнями (Корзун, Лагошина, 2017).

Главной особенностью унаби является высокое содержание витамина С и Р-активных соединений, что обуславливает их лечебно-профилактические свойства. Кроме того, плоды унаби содержат сахара, органические кислоты, танин, белковые вещества, пектин, железо, йод и др., что определяет возможность его использования в производстве продуктов питания повышенной пищевой ценности, в том числе функционального назначения (Причко, Германова, 2020).

Однако, наряду с плодами зизифуса настоящего, научный интерес представляют и листья этого растения, которые имеют многолетний опыт применения в традиционной медицине для лечения заболеваний воспалительной природы, используются в комплексной терапии гипертонической болезни (Барнаулов, 2018).

В связи с этим актуальны исследования, направленные на изучение антиоксидантных свойств листьев и плодов *Z. jujuba*, произрастающего в условиях предгорий Адыгеи. Важнейшим показателем, характеризующим антиоксидантные свойства растений, является содержание аскорбиновой кислоты – один из самых мощных антиоксидантов, защищающих организм от чрезмерного действия свободных радикалов.

Поэтому целью исследования являлась оценка плодов и листьев *Z. jujuba* по содержанию аскорбиновой кислоты в условиях предгорий Адыгеи.

Исследования проводились на базе коллекции унаби филиала ФИЦ «Субтропический научный центр Российской академии наук», расположенной в п. Цветочный (Майкопский район, Республика Адыгея) и учебно-научной лаборатории физиологии и биохимии растений ФГБОУ ВО «Адыгейский государственный университет». В качестве объектов исследования были выбраны: листья (свежие и сухие) и плоды (свежие, в период технологической зрелости, сушеные и замороженные) растений вида (*Z. jujuba*) и сорта Та-Ян-Цзао. Сбор листьев осуществляли трижды за вегетацию: в июле, августе и сентябре.

Определение аскорбиновой кислоты (АК) проводили классическим йодометрическим методом (Починок, 1976). Титрантом служил раствор йодата калия. Титрование вели в присутствии йодида калия и хлороводородной кислоты (индикатор – крахмал) до стойкого синего окрашивания. Все химические анализы выполнены в трехкратном повторении. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась с использованием пакета MS Excel 2010. Для определения значимости различий выборок объектов исследования использовали расчетный показатель *t*-критерия Стьюдента. Статистически значимой принята значимость различия между средними значениями при $p \leq 0.05$. Результаты исследования выражены в виде средней арифметической величины со стандартной ошибкой среднего.

На основе проведенных исследований установлено высокое содержание аскорбиновой кислоты в свежих листьях унаби – от 66.97 мг% до 439.71 мг%. В течение вегетации (июль–сентябрь) наблюдалось повышение АК к августу (316.51 ± 1.39 и 439.71 ± 1.01 мг% соответственно), и резкое снижение данного показателя, примерно в 4 раза (до 66.97 ± 1.46 и 109.89 ± 1.01 мг%

соответственно) в сентябре. В среднем за вегетацию более высокие значения АК отмечались в свежих листьях растений сорта Та-Ян-Цзао (293.2 мг%) по сравнению с видом *Z. jujuba* (220.68 мг%). В сухих листьях содержание АК падало до 2.29 ± 0.1 мг% у *Z. jujuba* и до 2.79 ± 0.08 у Та-Ян-Цзао, что связано с разрушением витамина С вследствие термической обработки при переработке сырья.

Свежие плоды унаби характеризовались высокой С-витаминностью. Содержание аскорбиновой кислоты в изученных образцах этой культуры, составило 154.29–157.81 мг%. Выявлены значительные различия в количестве АК в зависимости от методов хранения и переработки плодов (сушка, замораживание). Заморозка снижала содержание АК в среднем в 14 раз (6.96–22.67 мг%). Горазда больше витамина С содержалось в сушеных плодах (276.17–238.33 мг%).

Таким образом, в результате исследований проведена оценка листьев (свежие и сухие) и плодов (свежие, сушеные и замороженные) растений вида (*Z. jujuba*) и сорта Та-Ян-Цзао по содержанию аскорбиновой кислоты в условиях предгорий Адыгеи. Полученные данные позволяют определить перспективы и предложить пути использования данного сырья для целей пищевой промышленности (изготовление чая, настоев, компотов, сухофруктов и др.) и для создания средств антиоксидантного действия.

ЛИТЕРАТУРА

Барнаулов, О. Д. «Китайский финик – элитное лекарственное растение древнейших традиционных медийн стран Азии / О. Д. Барнаулов / Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. – 2018. – Т. 16, № 1. – С. 71–78.

Корзун, Б. В. Изучение интродуцированной субтропической культуры *Zizyphus jujuba* Mill. в Адыгейском филиале Всероссийского научно-исследовательского института цветоводства и субтропических культур / Б. В. Корзун, А. Г. Лагошина // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественноматематические и технические науки. – 2017. – Вып. 4 (211). – С. 109–116.

Починок, Х. М. Методы биохимического анализа растений / Х. М. Починнок. – Киев: Наукова думка, 1976. – 334 с.

Причко, Т. Г. Оценка качественных показателей плодов унаби и перспективы их использования при переработке / Т. Г. Причко, М. Г. Германова // Плодоводство и виноградарство Юга России. – № 63(3). – 2020. – URL: <http://journalkubansad.ru/pdf/20/03/25>.

Шарафутдинова, Е. Н. Качество пищевых продуктов и антиоксидантная активность / Е. Н. Шарафутдинова [и др.] // Аналитика и контроль. – 2011. – № 3. – С. 281–286.

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ ВОДНОГО ОБМЕНА ВЫСОКИХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В СПЕЛЫХ И ПЕРЕСТОЙНЫХ ЛЕСАХ КАРЕЛИИ

Д. Е. Семин, В. Б. Придача

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук

E-mail: semind@krc.karelia.ru

Водный обмен является одной из наиболее интенсивно изучаемых областей в экологической физиологии растений, в частности древесных растений, поскольку водный дефицит оказывает непосредственное влияние на рост и продуктивность в целом, регулируя камбиальную активность и рост клеток растяжением, а также интенсивность фотосинтеза, дыхание, поглощение и транспорт веществ. Наиболее универсальным показателем обеспеченности растения водой является водный потенциал (Ψ), величина которого отражает состояние баланса между поступлением влаги из почвы и потерями влаги в процессе транспирации, и зависит от запасов воды в самом растении. Временная изменчивость величины Ψ реализуется в виде устойчивых суточных ритмов. Так, если величина предрассветного Ψ_{\max} для древесного растения связана, в основном, с влажностью почвы и запасами воды в заболони дерева, то величина полуденного Ψ_{\min} при достаточной влагообеспеченности растений коррелирует с основными факторами среды, в частности освещенностью, температурой и дефицитом влажности воздуха, и зависит от транспирационных расходов влаги. Кроме абиотических факторов на показатели водообмена могут влиять возраст и размеры дерева. Целью данной работы является оценка влияния абиотических факторов на параметры водообмена высоких деревьев сосны в спелых и перестойных лесах Карелии.

Исследование проводили на тестовом полигоне на территории заповедника «Кивач» (Карелия) в последнюю декаду июня–июля и первую декаду августа 2023 г. Пробные площади (ПП) заложены в 10-ти сосняках черничных и брусничном. Объектом исследования послужили деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Средний возраст деревьев составил 170 лет, высота – 23.5–30.3 м, диаметр – 27.3–47.6 см. Почвы разных ПП представлены подзолом песчаным (ПП 113, 115, 44, 38, 260), подзолом супесчаным (ПП 190, 198), суглинистыми (ПП 8, 33) и торфяными (ПП 64, 75) почвами. Отбор охвоенных побегов проводили в предрассветные (03:00–05:00) и полуденные (13:00–15:00) часы в средней части кроны модельных деревьев сосны на высоте 18.2–24.3 м с помощью секатора в 5-кратной повторности. Для

определения предрассветных (Ψ_{\max}) и полуденных (Ψ_{\min}) величин водного потенциала охвоенных побегов сосны использовали камеру давления Plant Moisture Vessel SKPM 1400 (Skye Instruments Ltd., Великобритания).

Вегетационный период 2023 г. в районе исследований (согласно данным метеостанции Кондопога, <https://rp5.ru>) характеризовался в мае, июне и августе теплыми засушливыми условиями ($\Delta T_{\text{мес}} \leq 1.7$ °C и 43, 63 и 88% нормы осадков соответственно) относительно холодного дождливого июля ($\Delta T_{\text{мес}} \leq -1.5$ °C и 189% нормы осадков). Значения Ψ_{\max} побегов сосны в сосняках черничных, сформированных на автоморфных почвах, в большинстве случаев были ниже -1 МПа ($-1.06...-1.22$ МПа) в июне относительно июльских значений. Этот факт хорошо согласуется с дефицитом атмосферных осадков в мае–июне и свидетельствует о высокой дегидратации ксилемы у деревьев в сосняках на подзолах песчаных и супесчаных. О формировании высокого водного дефицита растений говорят и низкие значения Ψ_{\min} ($-1.46...-1.54$ МПа) в июне на всех экспериментальных участках. Очевидно, что в теплых засушливых условиях при невысокой влагообеспеченности автоморфных почв поступление воды в корни из почвы не успевает восполнять расход воды на транспирацию, интенсивность которой возрастает в дневное послеполуденное время. Исключение составил сосняк черничный на торфяных почвах (ПП 75), где значения как Ψ_{\max} (-0.55 МПа), так и Ψ_{\min} (-0.90 МПа) у сосны в июне находились в диапазоне нормального водного дефицита, который не оказывает угнетающего влияния на интенсивность фотосинтеза, что, очевидно, обусловлено достаточной увлажненностью торфяных почв относительно подзолов. Анализ данных за июль–август выявил наибольшие значения Ψ_{\max} ($-0.35...-0.49$ МПа) у побегов сосны в сосняках черничных, сформированных на подзоле супесчаном (ПП 190, 198), суглинистых (ПП 8, 33) и торфяных (ПП 64, 75) почвах, относительно сосняков на более легких подзолах песчаных, где значения Ψ_{\max} у побегов сосны были более отрицательные и составили $-0.58...-0.63$ МПа (ПП 260, 38). Вместе с тем, величины Ψ_{\min} на ПП 44, 38, 64 и 75 были в 1.2 раза более низкими ($-1.21...-1.38$ МПа) относительно сосняков на ПП 260, 190, 198, 8 и 33 ($-1.06...-1.12$ МПа).

Важно отметить, что формирование полуденного водного дефицита у растений является нормальным явлением. Наши многолетние исследования показателей $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -газообмена сосны обыкновенной в разных экологических условиях (Сазонова и др., 2011; Придача и др., 2018) показали, что у сосны ограничение транспирационных расходов влаги посредством закрытия устьиц начинается при значениях Ψ_{\min} $-1.0...-1.1$ МПа. Реализация максимального за сутки фотосинтеза у сосны отмечена в достаточно широком диапазоне величин Ψ_{\min} ($-0.7...-1.1$ МПа),

среднее значение которого составило -0.9 ± 0.1 МПа. Вместе с тем, у разных видов *Pinus* spp. отмечают широкий диапазон значений Ψ . Так, у взрослых деревьев *P. canariensis* в зависимости от высоты над уровнем моря и количества осадков величина Ψ составила $-0.3 \dots -2.5$ МПа (Gieger, Leuschner, 2004). Также развитие водного стресса отмечали при значениях Ψ (Cochard et al., 2004) от -1.8 МПа (*P. nigra*) и -2.6 МПа (*P. sylvestris*) до $-3.4 \dots -3.5$ МПа (*P. mugo*, *P. cembra*). Полученные нами величины Ψ_{\max} и Ψ_{\min} у взрослых деревьев *P. sylvestris* на разных ПП в оба периода исследований соответствуют отмеченному широкому диапазону исследуемого показателя для *Pinus* spp.

Таким образом, выявлено влияние экологических условий на показатели водообмена высоких деревьев сосны обыкновенной в спелых и перестойных лесах Карелии. Отмеченные закономерности характерны и для средневозрастных сосняков (Сазонова и др., 2011). В теплых засушливых условиях (июнь) в сосняках, сформированных на почвах автоморфного типа, отмечены критически низкие значения Ψ_{\max} и Ψ_{\min} , что свидетельствует о развитии водного стресса и высокой дегидратации ксилемы в течение суток. Напротив, при увеличении количества атмосферных осадков (конец июля–начало августа) и, очевидно, росте влагообеспеченности почв отмечено практически 2-кратное увеличение величины Ψ_{\max} на разных экспериментальных участках, что свидетельствует о восполнении запасов влаги растением в ночные часы. В этот период отмечено увеличение величины и Ψ_{\min} , что обеспечивает более высокую интенсивность $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ -газообмена сосны относительно предыдущего засушливого периода.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (ИЛ КарНЦ РАН).

ЛИТЕРАТУРА

- Придача, В. Б. Влияние абиотических факторов на водообмен хвойного и листового древесных растений / В. Б. Придача, Г. П. Тихова, Т. А. Сазонова // Труды КарНЦ РАН. – 2018. – № 12. – С. 76–86.
- Сазонова, Т. А. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной / Т. А. Сазонова, В. К. Болондинский, В. Б. Придача. – Петрозаводск: Verso, 2011. – 207 с.
- Cochard, H. Xylem wall collapse in water-stressed pine needles / H. Cochard, F. Froux, S. Mayr, C. Coutand // Plant Physiol. – 2004. – Vol. 134(1). – P. 401–408.
- Gieger, T. Altitudinal change in needle water relations of *Pinus canariensis* and possible evidence of a drought-induced alpine timberline on Mt. Teide, Tenerife / T. Gieger, C. Leuschner // Flora. – 2004. – Vol. 199. – P. 100–109.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОВОДЯЩЕЙ ФЛОЭМЫ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ

А. А. Серкова, Т. В. Тарелкина, Д. С. Иванова,
Е. В. Качанова, Л. И. Семенова

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук
E-mail: aserkova@krc.karelia.ru

Карельская береза (*Betula pendula* Roth var. *carelica*) – форма березы повислой, известная своей узорчатой древесиной. Строение древесины данного вида изучено достаточно хорошо. В то же время, работы, посвященные строению коры и флоэмы, немногочисленны.

Исследование проводилось на Заонежской лесосеменной плантации (Медвежьегорский район, Республика Карелия). Были выбраны 34–35-летние деревья карельской березы трех форм (безузорчатые, кустовидные и кустарниковые). Образцы отбирали 24 мая, 9 июня и 27 июня 2023 года во время активного камбиального роста. Фиксацию образцов и изготовление поперечных срезов тканей проводили по общепринятым методикам (Mollenhauer, 1964). Измерения количественных показателей на микрофотографиях проводили с использованием программы ImageJ. При проведении измерений руководствовались рекомендациями (Angyalossy и др., 2016). Проводимость ($\text{м}^4 \text{Па}^{-1} \text{с}^{-1}$) ситовидных трубок рассчитывали по формуле Хагена – Пуазёйля (Thompson, Holbrook, 2003; Bel van, Hafke, 2005). Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Statistica. Данные в таблице представлены как $\text{Me} \pm \text{IQR}$, где Me – медиана, IQR – межквартильный размах. Разными буквами отмечены значимые различия между группами, n.s. – различий нет.

Были получены значимые различия в ширине коры и ширине вторичной флоэмы у деревьев трех форм. Медианное значение ширины коры у безузорчатых, кустовидных и кустарниковых форм составило 4.0, 15.9 и 20.8 мм соответственно. Медианное значение ширины вторичной флоэмы у безузорчатых, кустовидных и кустарниковых форм составило 3.1, 9.7 и 12.4 мм соответственно.

Микроскопический анализ отобранных образцов показал, что во все даты отбора ширина проводящей флоэмы у безузорчатых деревьев достоверно отличалась от узорчатых деревьев (табл). Количество ситовидных трубок достоверно не отличалось у разных форм карельской березы. При этом площадь просвета ситовидных трубок у узорчатых деревьев карельской березы была

достоверно меньше по сравнению с безузорчатыми деревьями. Расчеты теоретической гидравлической проводимости флоэмы в разные даты отбора показали, что меньшие размеры ситовидных трубок у узорчатых деревьев карельской березы приводят к существенному ограничению дальнего транспорта ассимилятов.

Таблица

Анатомическая характеристика проводящей флоэмы карельской березы в разные даты отбора

Параметр	Форма	1 отбор (24 мая)		2 отбор (9 июня)		3 отбор (27 июня)	
Ширина проводящей флоэмы, мкм	безузорчатая	133.7	A	126.3	A	181.0	A
	кустовидная	78.9	B	80.5	B	126.2	B
	кустарниковая	66.3	B	101.7	B	68.8	B
Количество ситовидных трубок, шт. на мм ²	безузорчатая	718.1	n.s.	700.6	n.s.	688.6	n.s.
	кустовидная	653.5		981.2		725.7	
	кустарниковая	470.6		805.3		668.9	
Площадь просвета ситовидных трубок, мкм	безузорчатая	667.5	A	675.7	A	807.3	A
	кустовидная	417.0	B	407.6	B	510.4	B
	кустарниковая	416.8	B	364.6	B	511.1	B
Теоретическая проводимость на 1 мм ² флоэмы, 10 ⁻¹⁵ м ⁴ Па ⁻¹ с ⁻¹	безузорчатая	3.94	A	3.86	A	4.89	A
	кустовидная	2.42	B	1.36	B	2.07	B
	кустарниковая	1.27		1.46		2.50	

Можно заключить, что большая ширина коры и вторичной флоэмы у узорчатых форм была обусловлена, по-видимому, активными вторичными делениями клеток флоэмной паренхимы. У узорчатых форм карельской березы структурные изменения проявились в уменьшении ширины проводящей флоэмы, в составе которой формировались более мелкие ситовидные трубки. Расчеты теоретической гидравлической проводимости флоэмы показали, что указанные структурные особенности флоэмы узорчатых форм карельской березы сопровождаются значительным ограничением дальнего транспорта ассимилятов.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось при финансовой поддержке РНФ (№ 22-74-00096). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

ЛИТЕРАТУРА

Angyalossy, V. IAWA List of microscopic bark features / V. Angyalossy [et al.] // *IAWA J.* – 2016. – Vol. 37. – N 4. – P. 517–615.

van Bel, A. J. E. Physiochemical determinants of phloem transport / A. J. E. van Bel, J. B. Hafke // *Vascular transport in plants* / ed. by N. Holbrook, M. A. Zwieniecki. – Amsterdam: Academic Press, 2005. – P. 19–44.

Mollenhauer, H. H. Plastic embedding mixtures for use in electron microscopy / H. H. Mollenhauer // *Stain Technol.* – 1964. – Vol. 39. – P. 111–114.

Thompson, M. V. Application of a single-solute non-steady-state phloem model to the study of long-distance assimilate transport / M. V. Thompson, N. M. Holbrook // *J. Theor. Biol.* 2003. – Vol. 220. – N 4. – P. 419–455.

ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ МХОВ НА ЕСТЕСТВЕННЫХ СУБСТРАТАХ *IN VITRO*

Е. В. Смирнова*, Е. В. Кушневская**

*Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: esmir98@yandex.ru

**Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
им. С. М. Кирова

E-mail: e.kushnevskaya@spbu.ru

Выращивание мхов в лабораторных условиях имеет большое значение для исследований в области экологии и биоразнообразия, а также потенциально применимо для использования в фармации, рекультивации и ремедиации. Существуют различные методы выращивания: от самых трудоёмких и технологичных (проращивание из спор и поддержание стерильных культур и колоний), соответствующих задачам генетических, биохимических, молекулярных исследований, до наиболее тривиальных (посадка целых куртин, изъятых из природы). Для изучения физиологии и экологии видов представляется целесообразным культивировать мхи, используя их способность к дедифференциации клеток, фрагментов, побегов и их клональному размножению. Субстраты для выращивания мхов также зависят от целей исследования. Наиболее популярны жидкие и агаровые искусственные среды, традиционно применяемые для лабораторной культивации сосудистых растений (например, Кнопа, Хогланда, Мурасиге-Скуга). Реже используются естественные субстраты (в порядке убывания числа статей): песок, почва, таблетки верхового торфа, иные субстраты.

В данной работе рассмотрена регенерация и дедифференциация побегов мха *Tortula lingulata* Lindb. на 6 естественных минеральных субстратах. Этот мох имеет рассеянное распространение и на территории Европы известен только с песчаников. В качестве рабочей гипотезы предполагалось наличие значимых различий в успешности его прорастания на разных субстратах. Родительские побеги мха для посадки собрали с песчаника 04.10.2023 в одном из известных местонахождений вида в Ленинградской области – окр. дер. Псоедь, р. Саба. Минеральные субстраты отобраны возле другого местонахождения – окр. пос. Саблино, р. Тосна. В эксперимент вошли образцы известняка, глауконитового, оболового и кварцевого песчаников, диктионемового сланца, синей глины. Все эти осадочные породы могут достигать дневной поверхности и быть заселёнными диаспорами *T. lingulata* естественным путём.

До посадки мох две недели хранили в свежем состоянии в зиплок-пакетах в темноте в холодильнике при 4–6 °С. Все субстраты измельчили на чашечном истирателе до состояния аналитической пудры и просушили в сухожаровом шкафу при 105 °С в течение 3 ч. Прозрачные пластиковые банки (h=4.8 см, d=2.2 см) обработали 70% спиртом в течение 5 мин и поместили в термостат на 55 °С до полного высыхания. В банки поместили 8 г субстрата, 1.6 мл дистиллированной воды и здоровые вегетативные побеги мха, промытые дистиллированной водой. Опыт заложен в трехкратной повторности, по 5 побегов в повторности. Мох выращен при 10–12 °С в цикле день-ночь 16/8 в условиях полного спектра освещения (4000–9000 лк, 5–10 мВт/м² – диапазон показателей под парафильмом в пределах ростовой камеры). Влажность воздуха в банках поддерживали за счёт использования парафильма. Раз в 2 недели посадки поливали дистиллированной водой (0–0.5 мл, по необходимости, избегая формирования водной плёнки) и, не изымая побеги, производили учёты наличия фотосинтезирующей и нефотосинтезирующей протонемы на родительских побегах, заметных почек и побегов, максимальной длины ризонемы. Ниже приведены данные о раннем развитии – первые 2 месяца эксперимента.

В эксперименте были отмечены два пути регенерации *T. linguata*. В самом частом варианте на родительском побеге появлялась вторичная (регенеративная) протонема. При хороших условиях на ней формировались почки и развивались новые клоны. Второй вариант – продолжение роста верхушки родительского побега, его ветвление – наблюдался реже и всегда сочетался с развитием вторичной протонемы.

Все типы филламентов регенеративной протонемы (хлоронема, ризонема, каулонема) способны переходить друг в друга и все были отмечены в эксперименте. В первую очередь на родительских побегах образовывалась фотосинтезирующая хлоронема. Она была визуально заметна со 2 недели в виде зеленых нитей, торчащих во все стороны от области дедифференциации стебля (редко – листьев). Наибольший регенеративный потенциал отмечен для средней части стебля, что согласуется с литературными данными по другим видам. Наиболее быстро хлоронема сформировалась на кварцевом песчанике, наиболее медленно – на глауконитовом песчанике и глине. С 6 недели хлоронема была заметна на всех субстратах.

Ризонема появилась позже хлоронемы: темные филламенты были визуально заметны с 4 недели на всех субстратах, кроме глины (с 8 недели). При контакте с субстратом филламенты ризонемы заглубляются (наибольшая скорость заглубления отмечена на кварцевом песчанике), но могут и образовывать коврики из

толстых тяжей на поверхности, переплетаясь с каулонемой и протонемой (на диктионемовых сланцах).

Первые филаменты с почками – каулонема – отмечены с 4 недели на оболочке песчаника. По физико-химическим характеристикам этот вариант песчаника был наиболее близок к «родному» субстрату. Позже каулонема появилась на остальных субстратах, кроме глины и известняка (на 8 неделе каулонема так и не была отмечена).

Учёт почек и клонов проводили поштучно, вместе с растущими верхушками родительских побегов. На графике (рис.) заметно быстрое зарастание оболочного песчаника. Также очевидно отставание на глине – спустя 8 недель там не было растущих побегов. При использовании критерия Данна статистически подтвердилось отличие кластера быстрого роста («оболочный песчаник») от кластера отсутствия роста («глина») при множественном сравнении субстратов на каждом этапе учёта ($p < 0.05$). Выделение обособленного промежуточного кластера между этими кластерами не подтвердилось.

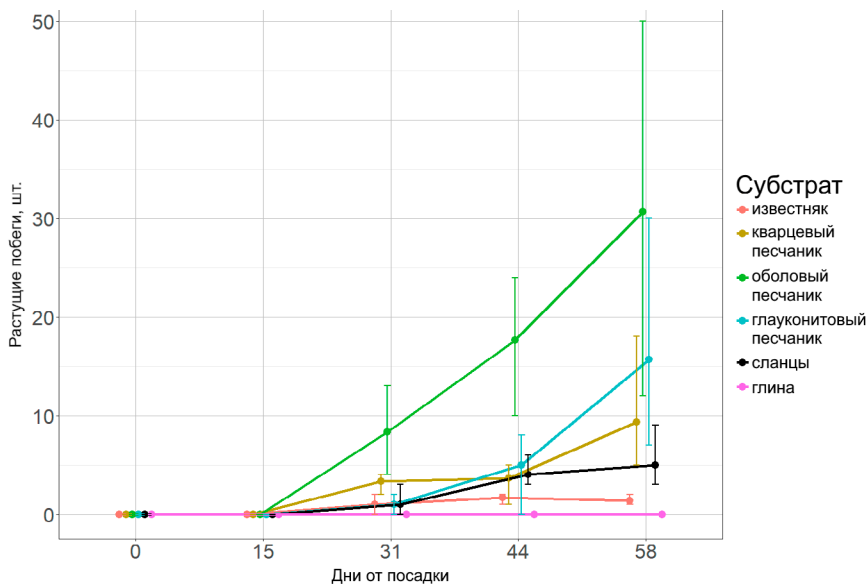


Рис. График размаха числа растущих побегов на разных типах субстрата, где усы – минимальное и максимальное число побегов в отдельной банке, точка – среднее число побегов для данного типа субстрата.

По полученным данным сделаны следующие выводы:

1) естественные субстраты имеют ряд особенностей, которые невозможно стандартизировать;

2) регенерация побегов *T. lingulata* существенно не отличается от регенерации других видов верхоплодных мхов;

3) наиболее успешно регенерация *T. lingulata* протекает на оболовом песчанике, чьи физико-химические характеристики наиболее близки к характеристикам «родного» субстрата;

4) рост *T. lingulata* в лаборатории может протекать на различных субстратах, значит, в природе её произрастание на других субстратах ограничено иными факторов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ К СЕЛЕКТИВНОМУ ФАКТОРУ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ

Т. В. Терещенко, О. О. Жолобова

Федеральный научный центр агроэкологии Российской академии наук

E-mail: tereschenko@vfanc.ru; zholobova-o@vfanc.ru

В настоящее время в неблагоприятных условиях засушливого климата остро стоит проблема поиска перспективных видов и создания новых гибридов и сортов растений, устойчивых к различным абиотическим стресс-факторам (засуха, засоление и повышенное содержание металлов в почве, экстремальные температурные условия и т.д.), которые негативно влияют на их рост, развитие и продуктивность (Tabatskaya et al., 2020). Поэтому многочисленные исследования сегодня направлены на разработку методов, позволяющих оптимизировать селекционные процессы.

Использование методов биотехнологии растений по сравнению с традиционными дает большой ряд преимуществ, таких как возможность ускорения создания новых селекционно улучшенных форм и сортов растений в 2–3 раза в строго контролируемых условиях среды с экономией площадей и материальных затрат, сохранение и ускоренное производство посадочного материала ценных экземпляров и т.д. (Tabatskaya et al., 2020; Zholobova et al., 2023; Корчагин и др., 2023). Наиболее активно ведутся исследования, по экспериментальной оценке, устойчивости к стресс-факторам хозяйственно ценных видов и сортов злаковых и овощных культур. Но в последние годы все больше внимания ученых стало уделяться селекции в культуре *in vitro* и некоторых видов древесных культур (осина, тополь, береза).

Для моделирования условий засухи в качестве селективных агентов обычно используют маннит, сорбит, сахарозу, хлорид натрия и полиэтиленгликоль (ПЭГ 6000 или ПЭГ 10000) (Круглова и др., 2021; Zholobova et al., 2023). Особенно часто используется ПЭГ 6000, который из-за своей высокой молекулярной массы не проникает в клетки растения и не оказывает токсичного действия (Круглова и др., 2021).

Целью данного исследования было изучить влияние осмотика Полиэтиленгликоль 6000 (ПЭГ 6000) на растения-регенеранты некоторых древесно-кустарниковых видов в условиях смоделированного водного дефицита в культуре *in vitro*.

В качестве объектов были взяты ранее размноженные в культуре *in vitro* микропобеги (размером 1.5–2.0 см) видов древесно-кустарниковых: скумпия кожевенная (*Cotinus coggygria* Scop.), подвой для косточковых ВСЛ-2 (*Prunus fruticosa* × *Prunus serrulata* var. *Lannesiana*), карагана карликовая (*Caragana pygmaea* L.) и дрок испанский (*Spartium junceum* L.). В состав безгормональной питательной среды по Мурасиге и Скугу MS (контроль) (Тимофеева и др., 2016) вносили ПЭГ 6000 в концентрациях 20, 40 и 60 г/л. Для оценки влияния осмотического стресса и степени устойчивости растений фиксировались изменения морфологии микропобегов, содержание фотосинтетических пигментов листового аппарата (хлорофилл и каротиноиды), плотность и размер устьиц.

В результате оценки влияния селективного агента ПЭГ 6000 в культуре *in vitro* на изучаемые параметры были выявлены некоторые адаптационные реакции растений к смоделированным условиям засухи. Отмечался хлороз, некротизация и опадание листьев у всех исследуемых образцов, а также изменения в пигментном составе листового аппарата, однако проявлялась и видоспецифичность реакции. Например, у опытных образцов *C. coggygria* после опадания листьев спустя 7–14 дней происходило образование новых листовых пластин, адаптированных к дефициту доступной воды. Статистически значимых изменений в пигментном составе не наблюдалось. Реакция подвоя ВСЛ-2 на средах с осмотиком также проявлялась в снижении частоты ризогенеза, уменьшении количества листьев наряду с их скручиванием и частичной некротизацией. Отмечалось снижение размера устьичных клеток и увеличение их количества на единицу площади листа. Статистически значимых изменений в пигментном составе выявлено не было. И в целом образцы ВСЛ-2 сохраняли свою жизнеспособность на всех концентрациях осмотика.

В ходе оценки засухоустойчивости генотипов *C. pygmaea* в культуре *in vitro* отмечалась четкая зависимость регенерации от способности экспланта к ризогенезу. В результате образцы, у которых сформировались корни, были более жизнеспособными чем растения без корней и показали высокую регенерационную способность. Потому формирование корней в условиях моделируемой засухи может являться критерием отбора устойчивых генотипов. У образцов *S. junceum* в присутствии ПЭГ 6000 в составе питательной среды отмечалось образование белого воскового налета на стебле, что также является механизмом адаптации для удержания влаги в растении, однако дальнейшей регенерации микропобегов и формирования корней не наблюдалось, что говорит о восприимчивости *S. junceum* к осмотическому стрессу. Было отмечено статистически значимое снижение содержания пигментного состава листового аппарата между данными контрольной группы и образцами с осмотиком.

Таким образом, в результате проведенных исследований были выявлены некоторые механизмы адаптации изучаемых видов к моделируемому стрессу в культуре *in vitro*, а также проведена оценка их засухоустойчивости. Важным фактором, определяющим прогноз адаптации к засухе, является пигментный состав листьев, отсутствие изменений которого говорит о стабильной работе фотосинтетического аппарата, успешной адаптации и устойчивости к моделируемой засухе. Среди изученных видов можно условно выделить засухоустойчивые – подвой для косточковых ВСЛ-2 и *C. coggygia*, частично адаптировавшийся вид – *C. pygmaea* (в зависимости от генотипа и способности к ризогенезу в условиях засухи), и чувствительный к водному дефициту – *S. junceum*.

Работа выполнена на базе молодежной лаборатории биотехнологий в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100427-1 «Разработать научные основы сохранения и воспроизводства ценных генотипов древесных и кустарниковых растений в культуре in vitro».

ЛИТЕРАТУРА

Корчагин, О. М. Сохранение лесных генетических ресурсов на основе коллекции *in vitro*: состояние, перспективы, проблемы (аналитический обзор) / О. М. Корчагин, Т. М. Табацкая, О. С. Машкина // Лесохозяйственная информация. – 2023. – № 2. – С. 75–90.

Круглова, Н. Н. Эмбриокультура *in vitro* в экспериментальной оценке засухоустойчивости хлебных злаков (обзор) / Н. Н. Круглова, О. А. Сельдиминова, А. Е. Зинатуллина // Таврический вестник аграрной науки. – 2021. – № 2. – С. 127–144.

Тимофеева, С. Н. Технологии микроразмножения *in vitro*: Учеб.-метод. пособие / С. Н. Тимофеева, Ю. В. Смолькина, Н. В. Апанасова, О. И. Юдакова. – Саратов, 2016. – 38 с.

Tabatskaya, T. M. *In vitro* modelling of salinity stress for the selection of stress-tolerant birch lines / T. M. Tabatskaya, O. S. Mashkina, O. M. Korchagin // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020. – Vol. 224. – P. 04013.

Zholobova, O. O. Screening Smoke Tree (*Cotinus coggygia* Scop.) on Osmotic Stress using Polyethylene Glycol 6000 *in vitro* / O. O. Zholobova, I. V. Mogilevskaya, S. V. Melnik // Indian Journal of Agricultural Research. – 2024. – No. 1. – P. 36–42.

ОСОБЕННОСТИ КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР *IN VITRO* НЕКОТОРЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Н. Г. Фоменко, О. О. Жолобова

Федеральный научный центр агроэкологии Российской академии наук

E-mail: fomenko-n@vfanc.ru; zholobova-o@vfanc.ru

Защитные лесные насаждения являются одним из эффективных инструментов для сохранения и улучшения качества почвы. Одной из ключевых функций защитных лесных насаждений является сохранение влаги и предотвращение эрозии почвы.

Использование отобранного селективного материала в агролесомелиорации является важным условием для достижения высокого качества и эффективности защитных лесных насаждений (Кулик, 2022). Применение биотехнологических и селекционно-генетических методов позволяет быстро получать высококачественный посадочный материал, а также повышать устойчивость деревьев к вредителям, болезням и абиотическим факторам.

Метод культивирования изолированных тканей *in vitro* широко применяется в биотехнологии растений, он используется для быстрого воспроизводства и сохранения ценных генотипов. Для исследования морфогенеза растений перспективными модельными объектами являются культуры каллусных тканей, которые могут быть индуцированы и развиваться в условиях *in vitro* (Круглова и др., 2018). Данные модели позволяют изучить и оценить морфогенетические события, которые происходят в культивируемых *in vitro* клетках. Процесс соматклональной изменчивости протекающий в культуре каллусных тканей позволяет решить ряд прикладных вопросов селекции благодаря которому можно получать новые формы растений-регенерантов, отличающихся как по фенотипическим, так и по генетическим признакам от исходных растений (Feher, 2019; Ikeuchi et al., 2013).

Исследования, связанные с индукцией каллусогенеза и морфогенеза, были проведены на сельскохозяйственных и травянистых культурах. Однако, при изучении процессов каллусогенеза у древесных растений *in vitro*, исследователи столкнулись не только с проблемой индукции, но и с трудностями в получении морфогенных каллусных культур, способных регенерировать целые растения. Индукция и получение морфогенного каллуса достаточно сложный процесс, требующий тщательной оптимизации условий культивирования. Необходимо учитывать особенности каждого вида растений, оптимальные

концентрации регуляторов роста, питательный состав среды, а также другие факторы, влияющие на дифференциацию и развитие каллуса. Разработка и оптимизация методов индукции и получения морфогенного каллуса важны не только для научных исследований, но и для промышленного растениеводства (Круглова, 2022).

Исходя из этого целью нашего исследования было изучить особенности процессов каллусообразования *in vitro* у древесных растений.

Для проведения исследования по индукции каллусогенеза у древесных видов в культуре *in vitro* в качестве модельных объектов были выбраны 5 растений: *Robinia pseudoacacia* L., *Populus deltoids* × *Populus alba* (*Populus F₁*), *Ulmus minor* Mill × *Ulmus parvifolia* JACQ (*Ulmus F₁*), Подвой для косточковых ВСЛ-2 (*Prunus fruticosa* × *Prunus serrulata* var. *Lannesiana*), *Cotinus coggygria* Scop.

Исследование проводилось в 2023 году на базе ФНЦ агроэкологии РАН в лаборатории биотехнологий. Индукцию каллусогенеза осуществляли на питательной среде Murashige и Scoog (MS) с включением в ее состав синтетических цитокинина тидиазурон (ТДЗ) и ауксина 2,4-дихлорфеноксиуксусную кислоту (2,4-Д) в концентрациях от 0.5 до 2.5 мг/л с интервалом 0.5. В качестве эксплантов использовали сегменты зеленых побегов и листьев, которые были заранее выращены в условиях *in vitro*. После 4-х недельного культивирования на фитостеллажах СТЕЛЛАР-ФИТО LINE (Россия) с 16-ти часовом фотопериодом и температурой 22–24 °С осуществляли сбор и обработку данных: расчет индукции каллусогенеза (ИК) и описание структурно-морфологических особенностей каллусных тканей.

В ходе проведенных исследований удалось выяснить, что все исследуемые объекты обладают способностью к образованию каллуса. Каждый исследуемый объект проявил видоспецифическую реакцию на использованные синтетические фитогормоны для индукции каллусообразования. По результатам полученных данных для каждого вида, кроме *C. coggygria*, были определены наиболее эффективные синтетические фитогормоны, их оптимальные концентрации, а также экспланты, которые можно использовать для максимальной индукции и получения жизнеспособного первичного каллуса.

Из-за интенсивного синтеза и накопления фенольных соединений эксплантатами *C. coggygria*, на всех исследуемых индукционных питательных средах отмечалась некротизация исходного экспланта и ускоренное потемнение первичного каллуса, поэтому установить оптимальные концентрации и тип фитогормонов не удалось.

Работа выполнена в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100427-1 «Разработать научные основы сохранения и воспроизводства ценных генотипов древесных и кустарниковых растений в культуре in vitro».

ЛИТЕРАТУРА

Круглова, Н. Н. Каллус *in vitro* как модельная система для исследования стрессоустойчивости растений к абиотическим факторам (на примере злаков) / Н. Н. Круглова, О. А. Сельдимирова, А. Е. Зина-туллина // Успехи современной биологии. – 2018. – Т. 138. – № 3. – С. 283–293.

Круглова, Н. Н. Каллусообразование и каллусогенез *in vitro* у злаков: роль гормонального баланса / Н. Н. Круглова // Известия Уфимского ИЦ РАН. – 2022. – № 1. – С. 52–59.

Кулик, К. Н. Современное состояние защитных лесонасаждений в Российской Федерации и их роль в смягчении последствий засух и опустынивания земель / К. Н. Кулик // Научно-агрономический журнал. – 2022. – № 3 (118). – С. 8–13. <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.118.3.001.08-13>.

Feher, A. Callus, dedifferentiation, totipotency, somatic embryogenesis: what these terms mean in the era of molecular plant biology? / A. Feher // *Frontiers in Plant Science*. – 2019. – Vol. 10. – P. 536. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00536>.

Ikeuchi, M. Plant callus: mechanisms of induction and repression / M. Ikeuchi, K. Sugimoto, A. Iwase // *The plant cell*. – 2013. – Vol. 25. – N 9. – P. 3159–3173. <https://doi.org/10.1105/tpc.113.116053>.

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ ДЫХАТЕЛЬНЫХ И АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ЛИНИЯХ *ARABIDOPSIS THALIANA* С НОКАУТОМ NRQ1, КОДИРУЮЩЕГО ВИОЛАКСАНТИНДЕЭПОКСИДАЗУ ХЛОРОПЛАСТОВ

К. В. Ядрихинский *, Е. С. Белых**, М. А. Шелякин**,
О. В. Дымова**, Р. В. Малышев**, Е. В. Гармаш**

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

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

E-mail: garmash@ib.komisc.ru

В природных условиях растения, как правило, получают намного больше света, чем им необходимо для фотосинтеза, поэтому выработали механизмы устойчивости к избытку световой энергии. В хлоропластах основным механизмом защиты от избытка световой энергии является нефотохимическое тушение, измеряемое по затуханию флуоресценции хлорофилла (NPQ). Доминирующая фракция NPQ связана с конверсией ксантофиллов виолаксантинового цикла (ВКЦ): зеаксантин, образующийся в результате деэпоксидации виолаксантина под действием света, принимает энергию возбужденного хлорофилла и диссипирует ее в тепло. Реакцию деэпоксидации катализирует виолаксантиндеэпоксидаза (ВДЭ). Дыхательные органеллы митохондрии также участвуют в защите от фотоингибирования, окисляя в электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) избыток восстановителей фотосинтетического происхождения. Важную роль в этом играет альтернативная оксидаза (АОХ), обеспечивающая альтернативный транспорт электронов (АП) в ЭТЦ. Согласно современным представлениям обе системы – ВКЦ и АОХ, локализующиеся в разных органеллах клетки, тесно взаимодействуют, что является необходимым условием поддержания оптимальных условий жизнедеятельности фотосинтезирующей клетки (Garmash et al., 2022). Однако многие аспекты взаимодействия хлоропластов и митохондрий пока остаются предметом исследований.

Целью данной работы было изучение влияния нокаутирования NRQ1 – гена, кодирующего виолаксантиндеэпоксидазу на дыхание, вовлечение АП, экспрессию дыхательных генов и изменение метаболических путей адаптации растений *Arabidopsis thaliana* при повышенной освещенности (400 мкмоль/м² с). Задача состояла в том, чтобы оценить реакцию дыхания на стресс при

подавлении основного фотопротекторного механизма в хлоропластах и проанализировать взаимозависимость двух энергодиссипирующих систем хлоропластов и митохондрий. Контролем служили растения дикого типа Columbia-0.

Растения выращивали в почвенной культуре с этапом стратификации при освещенности 90 мкмоль/(м² с). Через 4 недели растения подвергали воздействию света повышенной интенсивности 400 мкмоль/(м² с) в течение 8 часов. Дыхание листа изучали полярографическим методом с использованием системы «Hansatech» (Англия), вовлечение АП – ингибиторным анализом. Флуоресценцию хлорофилла – методом РАМ-флуориметрии («Walz», Германия). Определения содержания пигментов ВКЦ проводили с использованием ВЭЖХ с обращенной фазой. Экспрессию генов определяли методом ПЦР с этапом обратной транскрипции и разработанными праймерами, количество белка АОХ – методом вестерн-блоттинга. Активность супероксиддисмутазы (СОД) – методом нативного электрофореза. Уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ) в тканях листа определяли спектрофотометрически (Garmash et al., 2022).

ПЦР анализ подтвердил наличие мутации в линии NPQ1: транскрипты гена едва детектировались при амплификации. Линия NPQ1, как и следовало ожидать, характеризовалась стабильно максимально низким коэффициентом нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (qN) и уровнем деэпоксидации (DEPS), что было связано с содержанием практически в следовых количествах зеаксантина. Тогда как в листе растений дикого типа наблюдали типичную картину реакции фотосинтетического аппарата на повышенную освещенность: коэффициент qN значительно увеличился, а уровень DEPS возрастал, что свидетельствовало об усилении процессов диссипации световой энергии.

Линия NPQ1 отличалась повышенной по сравнению с растениями дикого типа дыхательной активностью и вовлечением АП, особенно после 8 ч освещения. Усиление альтернативного дыхания коррелировало с увеличением относительного количества транскриптов генов альтернативной оксидазы – АОХ1a,c,d и количества белка АОХ.

Экспрессия генов большинства компонентов других нефосфорилирующих путей – альтернативных дегидрогеназ и разобщающих белков – при экспозиции растений на высоком свете также была существенно выше в линии NPQ1, чем в диком типе.

В листьях дикого типа на нативном геле детектировали две изоформы – митохондриальную Mn-зависимую и хлоропластную Fe-СОД, активность которых возрастала после 6 ч. В нокаутной линии обнаружена, главным образом, Fe-СОД, актив-

ность которой усиливалась сразу после переноса растений в условия повышенной освещенности. Полученные данные, с одной стороны, свидетельствовали об усилении антиоксидантной защиты в хлоропластах при подавлении ВДЭ; с другой стороны, отсутствие митохондриальной формы СОД, по-видимому, было следствием возможного нацеливания экспрессируемых форм СОД в хлоропласты. Известно, что СОД, как и некоторые другие антиоксидантные ферменты, обладают стратегией двойного нацеливания и могут в зависимости от условий нацеливаться на соответствующую органеллу (Bodył, Mackiewicz, 2007). Этот вопрос требует специальных исследований.

Процессы ПОЛ были намного интенсивнее в нокаутной линии по сравнению с линией дикого типа, но после 8 ч воздействия повышенной освещенности уровень ПОЛ снижался и был сравним со значениями ПОЛ в диком типе. Это свидетельствовало об эффективной работе в линии NPQ1 систем антиоксидантной защиты, частью которой является АОХ.

Таким образом, реакция растений с нокаутом гена ВДЭ в условиях повышенной освещенности была направлена на вовлечение альтернативного пути дыхания и активацию СОД. В результате растения характеризовались снижением уровня ПОЛ, что указывало на эффективность работы защитных систем в данных условиях стресса. В целом, полученные результаты свидетельствовали о важной роли АОХ в фотосинтезирующей клетке и взаиморегуляции систем хлоропластов и митохондрий для защиты от фотоокисления.

ЛИТЕРАТУРА

Bodył, A. Analysis of the targeting sequences of an iron-containing superoxide dismutase (SOD) of the dinoflagellate *Lingulodinium polyedrum* suggests function in multiple cellular compartments / A. Bodył, P. Mackiewicz // Arch. Microbiol. – 2007. – Vol. 187. – P. 281–296.

Garmash, E. V. АОХ1а Expression in *Arabidopsis thaliana* affects the state of chloroplast photoprotective systems under moderately high light conditions / E. V. Garmash, O. V. Dymova, E. V. Silina, R. V. Malyshev, E. S. Belykh, M. A. Shelyakin, I. O. Velegzhaninov // Plants. – 2022. – 11. 3030.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
------------------	---

СЕКЦИЯ 1

**ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА**

Барсуков Л. Е., Махрова Т. Г., Кухта А. Е. ВИДОВОЙ СОСТАВ ДРЕВЕСНЫХ ИНТРОДУЦЕНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОМОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ МГУ.....	8
Виноградова Ю. С., Конотоп Н. К., Чемерис Е. В. ВОДОЁМЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ КАК МЕСТООБИТАНИЯ РЕДКИХ И ОХРАНЯЕМЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ.....	11
Гричик Е. Л., Жолобова О. О. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА СЕМЯН ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД.....	14
Груданов Н. Ю., Бутакова М. С. ФЛОРА ОХРАНЯЕМЫХ ВОДОЁМОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ ЕКАТЕРИНБУРГА.....	17
Добронравина В. Н., Кушневская Е. В. ИЗМЕНЕНИЕ ФЛОРИСТИЧЕСКОГО СОСТАВА ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВ ЗАКАЗНИКА «ГЛАДЫШЕВСКИЙ» (г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ) ЗА 2008–2020 ГГ.....	20
Жолнерова Е. А. ЭНДЕМИЧНЫЕ ВИДЫ СЕМЕЙСТВА LILIACEAE JUSS. НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОЙ ГОРНОЙ СТРАНЫ.....	22
Зыкова П. С., Гончарова О. А. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФЕНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ <i>ABIES SIBIRICA</i> LEDEB. В ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ-ИНСТИТУТЕ ИМ. Н. А. АВРОРИНА.....	25
Конева В. И., Алексеева Н. А. ЛИХЕНОБИОТА ЕЛЬНИКОВ И СОСНЯКОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ ПОСЕЛКОВ КОНДИНСКОЕ И МЕЖДУРЕЧЕНСКИЙ (КОНДИНСКИЙ РАЙОН, ХМАО).....	28
Конотоп Н. К., Виноградова Ю. С. ВЕПСОВСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ (ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛ.) КАК РЕФУГИУМ СЕВЕРНЫХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ.....	31

Короткова Н. В., Евстигнеев О. И. КВАЗИСЕНИЛЬНЫЕ ОСОБИ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В СОСНЯКАХ БРЯНСКОГО ПОЛЕСЬЯ.....	34
Мыльникова Т. А., Елсаков В. В., Боровлёв А. Ю., Щанов В. М. ВПЛА-СЪЁМКИ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЛЕСНОГО ПОКРОВА СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ.....	38
Панин И. А. ДИНАМИКА ЗАПАСОВ ДИКОРАСТУЩИХ ПИЩЕВЫХ И ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПОСЛЕ ВЕТРОВАЛОВ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ТЕМНОХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	42
Сторожева П. А., Минеева Л. Ю. РАЗНООБРАЗИЕ АЛЬГОФЛОРЫ ОЗЕРА РУБСКОГО ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....	45
Терентьева М. В., Громова О. А., Моисеев П. А. ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОКОГОРНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ НА г. СЕРЕБРЯНСКИЙ КАМЕНЬ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ) ЗА 20-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД.....	49
Фрейдин Г. Л., Кушневская Е. В. ЭПИКСИЛЬНАЯ ФЛОРА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ СМЕШАННЫХ ЛЕСОВ ЦЛГЗ (ТВЕРСКАЯ ОБЛ.).....	52
Чиркова С. Ю., Тарасова В. Н. ЛИШАЙНИКИ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ (<i>LARIX SIBIRICA</i> LEDEB.) В ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ).....	55

СЕКЦИЯ 2
ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИВОТНОГО МИРА

Ермолов С. А., Гераськина А. П., Шеховцов С. В., Держинский Е. А., Коцур В. М. К ВОПРОСУ О МОРФОЛОГИЧЕСКОМ И ГЕНЕТИЧЕСКОМ РАЗНООБРАЗИИ ДОЖДЕВОГО ЧЕРВЯ <i>VIMASTOS RUBIDUS</i> (<i>DENDRODRILUS RUBIDUS</i>) НА ТЕРРИТОРИЯХ РОССИИ И БЕЛАРУСИ.....	60
Колесникова А. Д., Судник С. А. РЕПРОДУКТИВНАЯ БИОЛОГИЯ АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ (<i>EUPHAUSIA SUPERVA</i>) ИЗ ПРОЛИВА БРАНСФИЛД 2020 ГОДА.....	64

- Кочерова Н. А., Беспятова Л. А., Бугмырин С. В.
 МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БЛОХ (SIPHONAPTERA)
 МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ
 ПОДЗОНЫ КАРЕЛИИ.....69
- Леонов В. Д.
 ФОРМИРОВАНИЕ СООБЩЕСТВ ПОЧВООБИТАЮЩИХ ОРИВАТИД
 ЕВРОПЫ: РОЛЬ СТОХАСТИЧЕСКИХ И ДЕТЕРМИНИСТИЧЕСКИХ
 ПРОЦЕССОВ.....71
- Марченко Ю. В., Голубев М. А., Бакашкина А. С., Батурина М. А.,
 Вележанинов И. О.
 ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ КРИПТИЧЕСКИХ ВИДОВ ОЛИГОХЕТ
 БАССЕЙНА РЕКИ ВЫЧЕГДА.....74
- Овчарук А. С., Судник С. А.
 НОВЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОРФОМЕТРИИ КРАБА
RHITHROPANOPEUS HARRISII (GOULD, 1841)
 (BRACHYURA: PANOPEIDAE), ЕЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
 ДЛЯ ОСОБЕЙ ИЗ АЗОВСКОГО МОРЯ, 2011 г.....77
- Полунина Ю. Ю., Болотов Э. А.
 СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИБРЕЖНОГО ЗООПЛАНКТОНА
 КРУПНЕЙШИХ ЛАГУН ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ
 ЛЕТОМ 2023 ГОДА.....83
- Фатеева А. А., Кудрин А. А.
 ИЗМЕНЕНИЕ ТРОФИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЕННОЙ ФАУНЫ
 В РЕЗУЛЬТАТЕ РУБКИ ЛЕСА В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ
 РЕСПУБЛИКИ КОМИ.....86
- Черников Д. С., Брагин М. А., Веселова Н. А.
 РОДИТЕЛЬСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ КУСТАРНИКОВЫХ СОБАК
 В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....90

СЕКЦИЯ 3

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

- Беликов А. С.
 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ РЕКИ ЕЛШАНКИ
 МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «Г. САРАТОВ» В УСЛОВИЯХ
 АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ.....95
- Гордина Д. А.
 ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ
 В ПОЙМЕ р. АМБАРНАЯ В ЗОНЕ НОРИЛЬСКОГО
 ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА.....98

- Ершова М. И., Лю-Лян-Мин Е. И.
СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛЕРОДА В СОСТАВЕ
ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЧВ.....101
- Иванова В. Н., Данилова М. А., Лукина Н. В.
ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ
ЕЛЬНИКОВ КУСТАРНИЧКОВО-ЗЕЛЕНОМОШНЫХ НА КОЛЬСКОМ
ПОЛУОСТРОВЕ.....105
- Ильинцев А. С., Буньков Н. А.
БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КУЛЬТУР ЕЛИ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПРЕДЕЛАХ ПОСАДОЧНОГО МЕСТА.....108
- Киркина М. П., Тарасова В. Н.
ЛИШАЙНИКИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОГО ГОРОДА
НА ПРИМЕРЕ ПАРКА «КУРГАН»
(г. ПЕТРОЗАВОДСК, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ).....111
- Королёв М. А., Шамрикова Е. В., Жангуров Е. В., Кубик О. С.
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДОРАСТВОРИМОЙ ФРАКЦИИ ПОЧВ
НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ ПОЛЯРНОГО УРАЛА.....114
- Котьякова К. Ю., Антипина Л. Ю., Штанский Д. В.
РАБОТКА АДсорбЕНТА НА ОСНОВЕ VN,
МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕРОМ (2-ГИДРОКСИЭТИЛМЕТА-
КРИЛАТ) ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УДАЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ
АНТИБИОТИКОВ ИЗ ВОДЫ.....118
- Кудрявцев Р. В.
ПОЧВЕННАЯ ЭМИССИЯ CO₂ В СОСНЯКЕ БРУСНИЧНО-
ЛИШАЙНИКОВОМ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО ЗАПОВЕДНИКА.....119
- Лю-Лян-Мин Е. И., Шамрикова Е. В., Груздев И. В., Жангуров Е. В.
КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЛИПИДОВ ПОЧВ
ПОЛЯРНОГО УРАЛА НА КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ
(ХРЕБЕТ БОЛЬШОЙ ПАЙПУДЫНСКИЙ).....123
- Паюсова И. В., Старцев В. В., Севергина Д. А., Дымов А. А.
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ
ОКСОЛАТО- И ДИТИОНИТОРАСТВОРИМЫХ ФОРМ ЖЕЛЕЗА
И АЛЮМИНИЯ В ПОЧВАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ
ПОСЛЕ РУБКИ.....126
- Плюха Н. И., Цепордей И. С., Усольцев В. А.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ
СОДЕРЖАНИЯ СУХОГО ВЕЩЕСТВА ВДОЛЬ ПО СТВОЛУ
У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ.....129
- Резниченко В. В.
МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИИ
ЗАКАЗНИКА «ПАРАСЬКИНЫ ОЗЁРА».....132

Севергина Д. А., Старцев В. В., Дымов А. А. СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА СРЕДНЕТАЁЖНЫХ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ВЫРУБКИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ.....	136
Семин Д. Е., Придача В. Б. ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ДЫХАНИЯ ПОЧВ ПОСТТЕХНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ.....	139
Скребенков Е. А., Денева С. В., Холопов Ю. В., Рудь А. А., Лаптева Е. М. АВТОМОРФНЫЕ ПОЧВЫ ЛЕСНОГО ЗАКАЗНИКА «ЛЯЛЬСКИЙ».....	142
Усов Н. А., Панова Т. М., Старыгин Л. А., Дрикер Б. Н. ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА.....	149
Хайретдинова В. О., Кушневская Е. В. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ГРУППИРОВОК ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА РАННИХ СТАДИЯХ ЗАРАСТАНИЯ ОТВАЛОВ ГЛИН В ЮНТОЛОВСКОМ ЗАКАЗНИКЕ (САНКТ-ПЕТЕРБУРГ).....	155
Харбака В. А., Масловская О. В., Тюрин В. Н. ИЗМЕНЕНИЕ МАССОВОЙ ДОЛИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ВЕРХОВОМ ВОЛОТЕ ПРИ СОЛЕВОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ.....	158
Якубенко С. В., Каверин Д. А. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛАНДШАФТОВ ОСУШЕННЫХ КОТЛОВИН ЮГО-ВОСТОКА БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ.....	160

**СЕКЦИЯ 4
РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ, ГЕНЕТИКА.
ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ
НА ОРГАНИЗМ**

Белых Н. Д., Рочева Т. К., Велегжанинов И. О., Пылина Я. И., Белых Д. В. ВЛИЯНИЕ 5-ГИДРОКСИ-3-ОКСАПЕНТОКСИ-2-ЙОДЭТИЛЬНЫХ ЗАМЕСТИТЕЛЕЙ НА ПЕРИФЕРИЮ МАКРОЦИКЛА Д ЕЙТЕРОПОРФИРИНА.....	164
Ермакова А. В., Раскоша О. В., Старобор Н. Н., Башлыкова Л. А., Боднарь И. С., Карманов А. П., Кочева Л. С. ИЗУЧЕНИЕ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СВОЙСТВ ЛИГНИНА ИЗ СТЕБЛЕЙ ОВСА.....	168

- Голубев Д. А., Земская Н. В., Михайлова Д. В., Шевченко О. Г., Патов С. А., Пунегов В. В., Шапошников М. В., Москалев А. А.
АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ И ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСТРАКТА ЖИМОЛОСТИ ПАЛЛАСА (*LONICERA PALLASII* L.).....171
- Земская Н. В., Михайлова Д. В., Платонова Е. Ю., Пакшина Н. Р., Уляшева Н. С., Яковлева Д. В., Голубев Д. А., Шапошников М. В., Куркиев К. У., Хлесткина Е. К., Москалев А. А.
ВЛИЯНИЕ ДИЕТ НА ОСНОВЕ ХЛЕБНЫХ ЗЛАКОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ *D. MELANOGASTER*.....174
- Котьякова К. Ю., Антипина Л. Ю., Штанский Д. В.
РАЗРАБОТКА АДСОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ВН, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИМЕРОМ (2-ГИДРОКСИЭТИЛМЕТАКРИЛАТ) ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УДАЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ АНТИБИОТИКОВ ИЗ ВОДЫ.....177
- Крестоношина К. С., Мельничук А. Д., Янгирова Л. Я.
ЭКСПРЕССИЯ ГЕНА *CYP6D1* У ОСОБЕЙ ЛАБОРАТОРНЫХ ЛИНИЙ *M. DOMESTICA* L.....178
- Михайлова Д. В., Шевченко О. Г., Голубев Д. А., Платонова Е. Ю., Земская Н. В., Шоева О. Ю., Гордеева Е. И., Патов С. А., Шапошников М. В., Хлесткина Е. К., Москалев А. А.
АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА И ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСТРАКТОВ ОТРУБЕЙ ПШЕНИЦЫ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ АНТОЦИАНОВ.....181
- Морданенко Я. Д., Вольховский А. В., Арапов К. А., Медведева Н. А.
ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ РАДИОУОКУЛИДОВ СЫРЬЕВОЙ ФИТОМАССОЙ ЗВЕРОВОЯ ПРОДЫРЯВЛЕННОГО (*HYPERICUM PERFORATUM*) И ЗВЕРОВОЯ ПЯТНИСТОГО (*HYPERICUM MACULATUM*) НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.....185
- Пакшина Н. Р., Яковлева Д. В., Прошкина Е. Н., Москалев А. А.
ВЛИЯНИЕ АКТИВАЦИИ ГЕНА *DICER1* В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER*.....188
- Платонова Е. Ю., Шапошников М. В., Москалев А. А.
ЧЕРНОПЛОДНАЯ РЯБИНА (*SORBARONIA MITSCHURINII*) КАК ИСТОЧНИК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ГЕРОПРОТЕКТОРОВ.....191
- Расова Е. Е., Тавлеева М. М., Рыбак А. В., Белых Е. С., Сенча Л. М., Балалаева И. В., Велегжанинов И. О.
СВЕРХЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ *SOD3* И *GPX3* ПРИВОДИТ К ПОВЫШЕНИЮ КЛЕТОЧНОЙ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ, НЕ ПОВЫШАЯ СКОРОСТЬ ПРОЛИФЕРАЦИИ И МИГРАЦИИ КЛЕТОК.....194

Рыбак А. В., Майстренко Т. А., Тавлеева М. М., Расова Е. Е.,
Белых Е. С., Вележанинов И. О.

АНАЛИЗ СООБЩЕСТВ МИКРООРГАНИЗМОВ В УСЛОВИЯХ
РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ: ОТ РАЗНООБРАЗИЯ
И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ К АДАПТАЦИИ.....197

Соловьёв И. А., Щеголева Е. В., Коваль Л. А., Шапошников М. В.,
Москалев А. А.

ФОТОРЕЦЕПТОРЫ И ТЕРМОРЕЦЕПТОРЫ *DROSOPHILA*
MELANOGASTER КАК ЭВОЛЮЦИОННО-КОНСЕРВАТИВНЫЕ
МИШЕНИ ГЕРОПРОТЕКТОРНЫХ ИНТЕРВЕНЦИЙ.....200

Соловьёв И. А.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ФЕНОТИПИРОВАНИЕ ВОЗРАСТНЫХ
ЗАБОЛЕВАНИЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ.....204

Уляшева Н. С., Коваль Л. А., Соловьёв И. А., Шапошников М. В.,
Прошкина Е. Н., Москалев А. А.

ИЗУЧЕНИЕ ГЕРОПРОТЕКТОРНОГО И РАДИОПРОТЕКТОРНОГО
ДЕЙСТВИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИНГИБИТОРОВ PIWI
НА МОДЕЛИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*.....207

СЕКЦИЯ 5

ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ

Андреева А. В., Паршуков В. С., Новаковская И. В., Дымова О. В.
ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ *COELASTRELLA* SP.

В НАКОПИТЕЛЬНОЙ КУЛЬТУРЕ.....211

Атоян М. С., Мальшев Р. В.

ВЛИЯНИЕ УФ-В НА СО₂-ГАЗООБМЕН И ФЛЮОРЕСЦЕНЦИЮ
ХЛОРОФИЛЛА АДАПТИРОВАННЫХ ЛИСТЬЕВ
ОЧИТНИКА ТРЕХЛИСТНОГО.....214

Афошин Н. В., Тарелкина Т. В., Серкова А. А., Семёнова Л. И.,
Иванова Д. С.

СЕЗОННАЯ АКТИВНОСТЬ КАМБИЯ *PINUS SYLVESTRIS* L.
В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ.....218

Васильева Ю. А., Гильмутдинова А. И., Хасанов Д. И., Данилова Ю. В.,
Рудакова Н. Л., Шарипова М. Р.

ПОЛУЧЕНИЕ МУТАНТНЫХ ШТАММОВ БАЦИЛЛ
ПО ГЕНАМ-КАНДИДАТАМ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА ФОРМИРОВАНИЕ
ISR-ПРАЙМИНГА.....221

- Вебер Н. Э., Груздев И. В., Скродкая О. В.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ КИСЛОТ В РАСТИТЕЛЬНЫХ
ОБРАЗЦАХ В ВИДЕ ГАЛОГЕНПРОИЗВОДНЫХ
МЕТОДОМ ГХ-ДЭЗ.....223
- Герасимов Н. А., Валияхметова К. Д., Багаутдинова Г. Г.,
Юлдашев Р. А., Авальбаев А. М., Ласточкина О. В.
ФИТОТОКСИЧЕСКОЕ ПОСЛЕДСТВИЕ ГЕРБИЦИДА
СЕКАТОР® ТУРБО В ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ЧЕРНОЗЕМЕ
НА СЕМЕНА ОДНОДОЛЬНЫХ И ДВУДОЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ.....226
- Головин А. В., Скрышник Л. Н.
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ ПИЖМЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
TANACETUM VULGARE L. В ПРОЦЕССЕ ВЕГЕТАЦИИ В СВЯЗИ
С ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ.....229
- Калабина А. А., Пахарькова Н. В.
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ХВОИ
ДЕРЕВЬЕВ *PINUS SIBIRICA* В УСЛОВИЯХ ВЫСОТНОЙ
ПОЯСНОСТИ ЗАПАДНОГО САЯНА.....233
- Мартьянов В. В.
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АБОРИГЕННЫХ ВИДОВ
КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ.....236
- Нилова И. А., Игнатенко А. А., Холопцева Е. С.
ВЛИЯНИЕ ПРЕДОБРАБОТКИ МЕТИЛЖАСМОНОМ
НА РОСТ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ, ИХ ПРОДУКТИВНОСТЬ
И НАКОПЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ.....239
- Осипова Ю. Д., Гармаш Е. В.
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ
В ПРОРОСТКАХ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПАРАКВАТА.....242
- Паршуков В. С., Тараканова Е. Н., Новаковская И. Н., Дымова О. В.
ВЛИЯНИЕ УФ-РАДИАЦИИ НА ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ КЛЕТОК
МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *CHLOROMONAS RETICULATA*
И *MYCHONASTES FRIGIDUS*.....245
- Рубаева А. А., Шерудило Е. Г., Шибаева Т. Г.
ВЛИЯНИЕ КОРОТКИХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ
МИКРОЗЕЛЕНИ СЕМЕЙСТВА *BRASSICACEAE*.....248
- Санникова А. В., Шарипова М. Р., Шакиров Е. В., Валева Л. Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ФУНКЦИЙ TRF-БЕЛКОВ
РАСТЕНИЙ.....251

- Семеновенко К. И.
СОДЕРЖАНИЕ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ЛИСТЬЯХ
И ПЛОДАХ УНАБИ (*ZIZYPHUS JUJUBA* MILL.) В УСЛОВИЯХ
ПРЕДГОРИЙ АДЪГЕИ.....254
- Семин Д. Е., Придача В. Б.
ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ
ВОДНОГО ОБМЕНА ВЫСОКИХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
В СПЕЛЫХ И ПЕРЕСТОЙНЫХ ЛЕСАХ КАРЕЛИИ.....257
- Серкова А. А., Тарелкина Т. В., Иванова Д. С., Качанова Е. В.,
Семенова Л. И.
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ПРОВОДЯЩЕЙ ФЛОЭМЫ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ.....260
- Смирнова Е. В., Кушневская Е. В.
ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ МХОВ
НА ЕСТЕСТВЕННЫХ СУБСТРАТАХ *IN VITRO*.....263
- Терещенко Т. В., Жолобова О. О.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ К
СЕЛЕКТИВНОМУ ФАКТОРУ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*
НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ.....267
- Фоменко Н. Г., Жолобова О. О.
ОСОБЕННОСТИ КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР *IN VITRO*
НЕКОТОРЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ.....270
- Ядрихинский К. В., Белых Е. С., Шелякин М. А., Дымова О. В.,
Мальшев Р. В., Гармаш Е. В.
ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ НА ЭКСПРЕССИЮ
ГЕНОВ ДЫХАТЕЛЬНЫХ И АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ
В ЛИНИЯХ *ARABIDOPSIS THALIANA* С НОКАУТОМ NRQ1,
КОДИРУЮЩЕГО ВИОЛАКСАНТИНДЕЭПОКСИДАЗУ
ХЛОРОПЛАСТОВ.....273

Научное издание

XXXI Всероссийская молодежная научная конференция
(с элементами научной школы),
посвященная 300-летию Российской академии наук,
80-летию Коми научного центра
Уральского отделения РАН,
80-летию со дня рождения А. И. Таскаева

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

Материалы докладов

Оригинал-макет и корректура: А. М. Вурдов
Электронное издание

Подписано в печать 11.10.24. Усл. печ. л. 17.0.
Заказ 07(2024).

Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук
167000, Россия, Республика Коми,
г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28.