

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

## **XXX ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**



### **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ (с элементами научной школы)**

Посвященная 300-летию Российской академии наук



20–24 марта 2023 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

XXX Всероссийская молодежная  
научная конференция  
(с элементами научной школы),

посвященная 300-летию Российской академии наук

## **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ**

**Материалы докладов**

20–24 марта 2023 г.  
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Сыктывкар  
2023

УДК 574/577 (063)

ББК 28

А 43

**Актуальные проблемы биологии и экологии** : материалы докладов XXX Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы), посвященной 300-летию Российской академии наук (20–24 марта 2023 г., г. Сыктывкар) / отв. ред.: И. Ф. Чадин – Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2023. – 274 с.

В сборнике представлены материалы докладов XXX 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.

Ответственный редактор:

к.б.н. И. Ф. Чадин

Члены редколлегии:

к.б.н. М. А. Батурина, к.б.н. И. О. Велегжанинов, к.б.н. И. В. Далькэ,  
к.б.н. Ю. А. Дубровский, д.б.н. С. В. Загирова, к.б.н. О. И. Кулакова,  
к.б.н. Е. М. Лаптева, к.б.н. А. Ф. Осипов, к.б.н. Е. Н. Патова,  
к.б.н. Н. И. Филиппов, к.б.н. М. В. Шапошников

ISBN 978-5-6050144-2-3

DOI: 10.5281/zenodo.8406195

© ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2023

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

XXX 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 20 по 24 марта 2023 года. Организатором конференции выступил Совет молодых ученых ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН при поддержке администрации института. Конференция проведена в очном формате с возможностью онлайн участия.

Научная программа конференции включала работу 5 секций: «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира», «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира», «Структурно-функциональная организация и антропогенная трансформация экосистем», «Радиационная биология, генетика. Влияние факторов физико-химической природы на организм» и «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов».

В работе приняли участие 242 исследователя (включая соавторов докладов) из 49 организаций, 29 городов, 28 регионов Российской Федерации и Республики Беларусь. В работе конференции 38 докладов было представлено студентами, 29 докладов – аспирантами, 30 докладов представили научные сотрудники и 8 – молодые специалисты. Всего было заслушано 105 докладов, в т.ч. пять – пленарных. Благодаря смешанному формату проведения конференции отмечено закономерное увеличение числа участников и докладчиков. Большое число докладов (38) представили молодые ученые, аспиранты, студенты и специалисты из научных, образовательных и иных учреждений города Сыктывкара.

Программа конференции выполнена в полном объеме. Организационный комитет конференции отметил актуальность обсуждаемых проблем и значимость полученных научных результатов. Организаторы выражают благодарность руководству ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН за всестороннюю помощь в реализации рабочей среды конференции, и особую признательность – пленарным докладчикам: Новаковской Ирине Владимировне, Кулаковой Оксане Ивановне, Шадрину Дмитрию Михайловичу, Яковлевой Евгении Вячеславовне.

Данный сборник выпущен по итогам работы конференции. В него вошли доклады, представленные участниками конференции. При издании материалов конференции проведено техническое редактирование присланных материалов. Сущность научных текстов не изменена. Ответственность за научное содержание материалов несут авторы.

*Председатель Совета молодых ученых  
Института биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук  
к.б.н. В. В. Старцев*

**РЕЗОЛЮЦИЯ**  
**XXX Всероссийской молодежной научной конференции**  
**(с элементами научной школы)**  
**«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ»**

Сыктывкар, 20-24 марта 2023 г.

XXX 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 20 по 24 марта 2023 года. В этом году конференция была посвящена 300-летию Российской академии наук.

Конференция собрала сотрудников научных организаций и высших учебных заведений, аспирантов, студентов, специалистов, участвующих в научно-исследовательской работе в областях биологии и экологии. Конференция проводилась в очном формате с возможностью онлайн участия. Основной целью конференции являлось создание условий для общения молодых учёных, обмена опытом с именитыми коллегами, поиска новых идей, предоставления начинающим исследователям возможности обсудить результаты своих научных работ в кругу квалифицированных специалистов. Организатором конференции выступил Совет молодых ученых Института биологии при поддержке администрации института.

Традиционно в работе конференции научная программа включала 5 секций: «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира» (15 докладов), «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира» (13 докладов), «Структурно-функциональная организация и антропогенная трансформация экосистем» (21 доклад), «Радиационная биология, генетика. Влияние факторов физико-химической природы на организм» (24 доклада), «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов» (27 докладов). На конференции прозвучало 105 докладов, в том числе пять пленарных. В работе конференции приняли участие молодые ученые и специалисты, студенты и аспиранты из 49 организаций, 29 городов, 28 регионов РФ и Республики Беларусь.

В качестве пленарных докладчиков перед работой научных секций конференции выступили молодые ученые ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. В сообщении Новиковской Ирины Владимировны были раскрыты теоретические и практические аспекты изучения снежных водорослей. Кулакова Оксана Ивановна в докладе осветила особенности расселения и натурализации адвентивных видов чешуекрылых (Lepidoptera) в Республике Коми. Из доклада Шадрин Дмитрий Михайлович участники конференции узнали об областях применения ДНК-штрихкодирования. Яковлева Евгения Вячеславовна представила результаты изучения полициклических ароматических углеводородов в бугристых болотах Европейской Арктики.

Всего в работе конференции приняли участие 242 исследователя с соавторами: 38 докладов было представлено студентами, 29 докладов сделали аспиранты, 30 докладов представили научные сотрудники и 8 докладов – молодые специалисты. Среди докладчиков – 17 кандидатов наук разных специальностей. Большое число докладов представили молодые ученые, аспиранты, студенты и специалисты из научных, образовательных и иных учреждений Сыктывкара (38 докладов): ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Всероссийский центр карантина растений по Республике Коми.

Остальные участники представляли широкий спектр научных, образовательных и других организаций: Сургутский государственный университет (г. Сургут), ВНИИ Институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ТюмНЦ СО РАН (г. Тюмень), Вологодский государственный университет (г. Вологда), Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (г. Москва), Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии (г. Обнинск), ЛГУ им. А.С. Пушкина (г. Санкт-Петербург), ГАУ Северного Зауралья (г. Тюмень), Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (г. Уфа), Институт леса Карельского научного центра РАН (г. Петрозаводск), Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси (г. Гомель), Институт проблем промышленной экологии Севера (г. Апатиты), Калининградский государственный технический университет (г. Калининград), Институт «Медицинская академия имени С. И. Георгиевского» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (г. Симферополь), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород), Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск), Костромской историко-архитектурный и художественный музей-заповедник (г. Кострома), Петрозаводский государственный университет (г. Петрозаводск), Печоро-Илычский государственный природный биосферный заповедник (пст. Якша), Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук (г. Кировск), Самарский государственный социально-педагогический университет (г. Самара), Санкт-Петербургский государственный университет (г. Санкт-Петербург), Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова (г. Архангельск), Сахалинский государственный университет (г. Южно-Сахалинск), Сибирский федеральный университет (г. Красноярск), Уральский государственный лесотехнический университет (г. Екатеринбург), Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург), Уфимский институт биологии УФИЦ РАН (г. Уфа), Казанский (Приволжский) федеральный университет (г. Казань), Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского (г. Симферополь), Тюменский государственный уни-

верситет (г. Тюмень), ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (г. Москва), Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (г. Санкт-Петербург), Курский государственный университет (г. Курск), Иркутский государственный университет (г. Иркутск), Петрозаводский государственный университет (г. Петрозаводск), Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова (г. Абакан), Волгоградский государственный социально-педагогический университет (г. Волгоград), Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (г. Новосибирск), Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства (г. Архангельск), ФИЦ Угля и Углекислоты СО РАН (г. Кемерово), Федеральный исследовательский центр комплексного изучения арктики РАН (г. Архангельск), Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (г. Москва), Всероссийский центр карантина растений (г. Симферополь).

Оргкомитет конференции и оценочные комиссии секций подчеркнули высокий научный уровень и практическую направленность многих работ, а также расширение спектра исследований с использованием специализированного оборудования и современных методик. Программа конференции выполнена в полном объеме. Следует выделить закономерное увеличение числа докладчиков благодаря смешанному формату проведения конференции. Количество онлайн участников составило половину от общего числа докладчиков. Участники отметили актуальность обсуждаемых проблем и значимость полученных научных результатов, высокий уровень организации и проведения конференции.

Оргкомитет конференции рекомендует:

1. ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН издать электронный сборник материалов докладов, представленных на конференции;
2. Совету молодых ученых поместить электронную версию материалов докладов на сайте ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и в базе данных РИНЦ (<http://elibrary.ru>).
3. Сохранить возможность делать доклады в онлайн-режиме, что позволяет расширить количество и географию участников конференции;
4. Провести XXXI Всероссийскую молодежную научную конференцию «Актуальные проблемы биологии и экологии» весной 2024 года.

Совет молодых ученых благодарит всех участников за то, что выбрали конференцию «Актуальные проблемы биологии и экологии» для выступления и обсуждения своих научных результатов. Отдельная благодарность администрации Института биологии за помощь при проведении конференции.

*Организационный комитет  
XXX Всероссийской молодежной научной конференции  
(с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии»*

---

**Секция 1****ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА**

---

**ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФЛОРЫ ГОРОДА КЕМЕРОВО****Б. Г. Андреев**

Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Кемерово

E-mail: [b.g.andreev@mail.ru](mailto:b.g.andreev@mail.ru)

Город – результат целенаправленной деятельности по трансформации окружающей среды. Антропогенные ландшафты разнородны, что представляет особый интерес при изучении особенностей флоры отдельных его частей.

Цель исследования – изучение особенностей таксономической структуры флоры города Кемерово.

Для выявления особенностей флорогенеза в городе Кемерово использован метод модельных выделов (Ильминских, 2014), в каждой функциональной зоне в зависимости от степени представленности по площади было заложено по несколько пробных площадей (всего 73) квадратной формы 250x250 м, в которых в течение сезона несколько раз проводилось выявление видового состава высших сосудистых растений. Материалы собирались с апреля по октябрь 2021–2022 гг. Были проанализированы данные гербариев Кузбасского ботанического сада (КУЗ) и Кемеровского государственного университета (КЕМ), и материалы гражданской науки ([https://www.inaturalist.org/observations/export?flow\\_task\\_id=268971](https://www.inaturalist.org/observations/export?flow_task_id=268971)).

В зависимости от степени и способа нарушения почвенного покрова город Кемерово разделён на урбанизированные (жилая многоэтажная, жилая одноэтажная, административная, декоративная, промышленная зоны, кладбища, дорожная и железнодорожная сети, свалки) и субурбанизированные (леса, суходольные и заливные луга, естественные обнажения, остепнённые склоны) территории, значительно различающиеся по видовому составу (Андреев, 2022).

Флора города Кемерово представлена 953 видами из 431 родов и 107 семейств. Показатели видового, родового разнообразия урбанофлоры ниже, чем у субурбанофлоры, что обусловлено экстремальными условиями произрастания. Доля одновидовых родов, одновидовых и однородовых семейств высокая – 55.22%, 28.04% и



51.40% соответственно, что свидетельствует о сильном преобладании процессов заноса над видообразованием (табл. 1), аллохтонные тенденции во флоре отображает индекс Малышева, значения которого равно -0.257 (Зверев, 2007), что также подтверждает вышеописанное.

Таблица 1

#### Ключевые таксономические характеристики флоры города Кемерово

Таксономический показатель	Флора города	Отделы флоры	
		Урбанофлора	Субурбанофлора
Общее число видов	953	638	793
Общее число родов	431	332	373
Общее число семейств	107	84	98
Доля одновидовых родов, %	55.22	58.13	56.57
Доля одновидовых семейств, %	28.04	28.57	33.67
Доля однородных семейств, %	51.40	54.76	54.08
Доля видов в 10 ведущих родах, %	14.59	13.95	15.13
Доля видов в 10 ведущих семействах, %	55.30	58.31	57.00
Доля родов в 10 ведущих семействах, %	57.31	59.64	59.25

Для флоры города Кемерово и её отделов было выделено 10 ведущих семейств. Asteraceae вносит наибольший вклад как в видовое (130), так и в родовое (58) разнообразие всех частей города, значительный вклад внёс род *Artemisia* (13). Вторым по степени представленности является семейство Poaceae – 69 видов и 39 родов, ведущим родом из данного семейства является *Poa* – 10 видов. Характерен для городских флор высокий вклад в видовое разнообразие семейства Rosaceae (69), как за счёт видов и сортов, используемых в озеленении, так и рода *Potentilla* – 19 видов – обильно представленного как на субурбанизированных (18) так и урбанизированных (12) территориях по причине типичности для аборигенной флоры и высокой устойчивости к вытаптыванию и запылению. Представители семейств Fabaceae и Brassicaceae активно заселяют рудеральные и сегетальные экотопы, но также играют важную роль в аборигенной флоре Кемеровской области, зачастую выполняя роль эдификаторов, род *Vicia* (12) в большей степени представлен на сильно нарушенных территориях. Род *Carex* является ведущим для флоры города из-за обильной представленности вдоль водоёмов, на заливных лугах, заболоченных участках, вдоль технических водоёмов, но в самом городе был обнаружен только в парке у искусственного пруда, данный род является типичным для бореальных флор. Ведущая позиция рода *Salix* обусловлена использованием для озеленения города, произрастанием вдоль водоёмов и на рудеральных территориях, которые ранее являлись лугами (табл. 2, табл. 3).

Во флоре города Кемерово отмечено 464 вида, встречающихся как в полустественных, так и искусственных группах местообитаний. Число уникальных видов для урбанофлоры – 174, а для субурбанофлоры – 329. Часто встречаются на терри-

тории практических всех частей города следующие виды: *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Phleum pratense* L., *Polygonum aviculare* L., *Melandrium album* (Mill.) Garcke, *Stellaria graminea* L., *Chelidonium majus* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Agrimonia pilosa* Ledeb., *Potentilla anserina* L., *Amoria repens* (L.) C. Presl, *Vicia cracca* L., *Linaria vulgaris* Mill., *Plantago media* L., *Carduus acanthoides* L., *Tussilago farfara* L. и *Acer negundo* L.

Таблица 2

## Соотношение рангов ведущих семейств флоры города Кемерово

Семейство	Город		Урбанофлора		Субурбанофлора	
	Ранг семейства по видам	Ранг семейства по родам	Ранг семейства по видам	Ранг семейства по родам	Ранг семейства по видам	Ранг семейства по родам
Asteraceae	1	1	1	1	1	1
Poaceae	2-3	2	4	2	2	2
Rosaceae	2-3	5	2	4	3	5
Fabaceae	4	6	5	7	4	6
Brassicaceae	5	3	3	3	5	3
Ranunculaceae	6	8-9	7	9	7	9
Caryophyllaceae	7	10	11	10-11	6	8
Lamiaceae	8	7	6	6	8-9	7
Apiaceae	9	4	9-10	5	8-9	4
Polygonaceae	10	11-12	8	10-11	11	12

Таблица 3

## Соотношение рангов ведущих родов флоры города Кемерово

Род	Город	Урбанофлора	Субурбанофлора
<i>Carex</i>	1	21-34	1
<i>Potentilla</i>	2	1	2
<i>Salix</i>	3	2	4-5
<i>Viola</i>	4	6-8	4-5
<i>Artemisia</i>	5	6-8	3
<i>Rumex</i>	6-7	3	6-10
<i>Vicia</i>	6-7	4-5	6-10
<i>Euphorbia</i>	8-9	9-12	6-10
<i>Veronica</i>	8-9	4-5	11-13
<i>Poa</i>	10	13-14	6-10

## ЛИТЕРАТУРА

Ильминских Н. Г. Флорогенез в условиях урбанизированной среды. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2014. 470 с.

Сообщество натуралистов – iNaturalist : [сайт]

URL:[https://www.inaturalist.org/observations/export?flow\\_task\\_id=268971](https://www.inaturalist.org/observations/export?flow_task_id=268971)

*Андреев Б. Г.* Экологическая структура флоры города Кемерово // Ежегодная конференция молодых учёных ФИЦ УУХ СО РАН «Развитие – 2022»: сборник трудов конференции. Кемерово, 2022. С. 253-261.

*Зверев А. А.* Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.

## **ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОХРАНЫ РЕДКИХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ НА ООПТ СЕРГИЕВСКОГО РАЙОНА САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**К. Ю. Атанова, Н. А. Аветисян**

Самарский государственный социально-педагогический университет, Самара  
e-mail: [atanovaksenia@yandex.ru](mailto:atanovaksenia@yandex.ru), [nazeli.avetisyan.03@mail.ru](mailto:nazeli.avetisyan.03@mail.ru), [5iva@mail.ru](mailto:5iva@mail.ru)

В последние годы в связи с ограничительными мерами, нестабильной обстановкой в мире всё большую популярность приобретает внутренний туризм. Особенно актуальными становятся маршруты по интересным объектам, находящимся недалеко от места жительства. Самарская область занимает достойные позиции в списках национального рейтинга как регион, имеющий высокий туристический потенциал. Именно поэтому населением активно рассматривается возможность изучать и осваивать не только городскую культуру, но и сельскую местность.

В настоящее время предлагается достаточно большое число маршрутов, среди которых важное место занимают маршруты по природным комплексам. В таком интенсивно освоенном регионе как Самарская область практически каждый уголок, отличающийся достаточно высокой сохранностью естественных черт и близостью к трассе и населенным пунктам, обычно входит в список охраняемых территорий. В связи с этим рекреационная, в том числе экскурсионная нагрузка, должна быть регламентированной и щадящей (Голубая книга..., 2007; Зеленая книга..., 2006).

Среди уникальных мест Сергиевского района Самарской области можно назвать несколько объектов, которые ежегодно посещают сотни, а иногда и тысячи туристов. Однако поток посетителей природных особо охраняемых территорий здесь имеет стихийный характер. На наш взгляд, необходимо предпринимать меры по отслеживанию и регламентации этого потока.

В качестве базового маршрута нами предлагается экскурсия «Экотропами Сергиевского района» (рис.). Разработанный маршрут начинается с остановки «Голубое озеро», плавно переходящей к остановкам «Якушкинские источники» и «Лебединый пруд». После пересечения небольшого участка дороги туристов ожидает остановка «Деревня Васильевка», расположенная на пути к ООПТ «Гора Высокая»

и «Нефтяной овраг». Тропа заканчивается остановкой «Васильевский лес». Длина пешего маршрута около 10 км. Время нахождения на маршруте может быть различным – от 3 часов до полного светового дня. Этот фактор может зависеть как от времени года (например, сроков цветения растений), так и от возраста экскурсантов. Между некоторыми остановками возможно передвигаться на автотранспорте. Тропа рассчитана на учащихся 7–11 классов. Маршрут может быть востребован при изучении тем, касающихся биологического разнообразия при изучении растений и животных, структуры и особенностей экосистем, антропогенного и других экологических факторов.

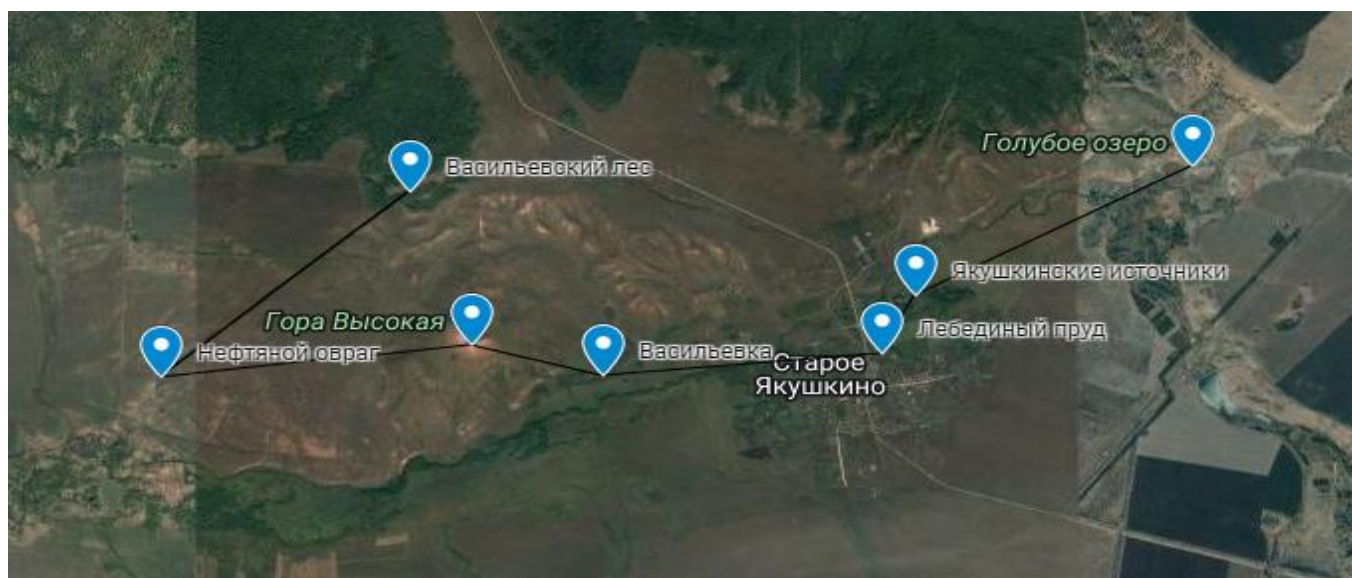


Схема маршрута.

На экологических тропах можно ознакомиться с водными, степными, луговыми, лесными, сорно-рудеральными экосистемами и агроэкосистемами. Флора, фауна объектов природы характеризуются богатством и разнообразием, в связи с чем представляют интерес для их изучения.

К примеру, на предлагаемых точках-остановках маршрута можно встретить целую группу эндемичных растений: копеечник Гмелина (*Hedysarum gmelinii*), остролодочник яркоцветковый (*Oxytropis floribunda*), астрагал волжский (*Astragalus wolgensis*). Также разработанная тропа предполагает знакомство с редкими представителями Красной Книги Самарской области: скабиоза исетская (*Scabiosa isetensis*), пырей плевеловидный (*Elytrigia lolioides*), тюльпан дубравный (*Tulipa biebersteiniana*), рябчик русский (*Fritillaria ruthenica*), истод сибирский (*Polygala sibirica*), и Красной Книги России: касатик карликовый (*Iris pumila*), ковыль перистый (*Stipa pennata*), копеечник крупноцветковый (*Hedysarum grandiflorum*), копеечник Разумовского (*Hedysarum razoumovianum*), полынь солянковидная (*Artemisia salsoloides*), шаровница точечная (*Globularia punctata*), тонконог жестколистный (*Koeleria sclerophylla*) и т.д.

Тропа позволяет познакомиться и с животным миром местности: увидеть необычную окраску пчелы-плотника (*Xylocopa valga*), заметить ловкость ящерицы прыткой (*Lacerta agilis*), насладиться величественным полётом птиц. Однако важно учитывать, что разработка и проведение экскурсий в природу должны соответствовать образовательным и природоохранным требованиям (Ильина и др., 2017; Ильина, Макарова, 2019).

В населенных пунктах возможно изучение быта, традиций населения. Сейчас трудно себе представить, что когда-то в деревне Васильевке кипела бурная жизнь: от школ, ферм, мельниц, кузниц ничего не осталось. Но сохранились удивительные объекты архитектуры – дома, отражающие частичку прошлого, и его свидетели – местные жители, благодаря общению с которыми туристы могут прикоснуться к памятной истории. Возможно, организация здесь туристического маршрута будет способствовать развитию села.

### **Паспорт экологической тропы**

Местонахождение: в границах сельского поселения Кармало-Аделяково, в 500 м севернее села Старое Якушкино.

Назначение: сохранение окружающей среды, защита памятников природы, формирование экологической грамотности.

Вид тропы: познавательно-туристическая.

Краткое описание границ маршрута: маршрут начинается с остановки «Голубое озеро», плавно переходящей в точки «Якушкинские источники» и «Лебединый пруд». После пересечения небольшого участка дороги туристов ожидает остановка «Деревня Васильевка», расположенная на пути к ООПТ «Гора Высокая» и «Нефтяной овраг». Тропа заканчивается станцией «Васильевский лес».

Состояние экологической тропы: хорошее.

На остановке №1 «ООПТ «Голубое озеро» вы узнаете: от чего зависит его волшебный цвет, который при попадании солнечного луча переливается бирюзово-голубыми оттенками; о лечебной сероводородной воде, которая обладает целебными свойствами; о легендах озера; температуру воды и его незабываемый запах, который чувствуется при небольших порывах ветра. Озеро достаточно небольшое, но глубокое — до 30 метров. Есть оборудованный спуск, на котором многие в основном позируют: вода в озере держится в пределах +8 градусов.

Остановка №2 «ООПТ «Якушкинские источники». Серный источник расположен в левобережной пойме, в 30 м от реки Шунгут, в 1 км северо-восточнее села Старое Якушкино Сергиевского района Самарской области. Родник восходящий, не обустроен, не каптирован. Дебет источника 2 л/сек. Вода жесткая сухой остаток 2300 мг/л, рН 6.6. Абсолютная высота 85 м над уровнем моря.

Остановка №3 «Лебединый пруд». Когда-то один из протоков реки Шунгут запрудили с целью экстенсивного использования имеющихся водных ресурсов. Этот объект не отмечен на картах и не имеет официального названия, однако мест-

ные жители часто называют его Лебединым. И это неслучайно: весной и летом здесь можно наблюдать целую стаю лебедей-шипунгов (*Cygnus olor*). Водоём привлекателен и для других представителей орнитофауны – встречаются на пруду и утки-кряквы (*Anas platyrhynchos*), и серебристые чайки (*Larus argentatus*), и типичные виды, характерные для территории.

Остановка №4 «Деревня Васильевка». В годы Советского Союза здесь был построен колхоз имени Ворошилова, который в 50-х годах прошлого столетия объединили со Старо-Якушкинским колхозом. Тогда эти территории стали относиться к Сергиевскому району.

Остановка №5 «Гора Высокая». Площадь горы 50 га. Она похожа на гигантскую скирду сена. Гора Высокая совершенно обособлена, словно никогда и не была частью отрога Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Сложена она известняковыми мергелями и красными глинами татарского яруса пермской системы. На юго-западном склоне среди осыпей красной глины можно найти окаменевшие раковины морских брахиопод, живших в здешних морях более 160 млн. лет назад. Гора невысока — ее относительная высота менее 100 м. Но на сравнительно ровной территории она весьма заметно выделяется. С ее вершины открывается широкая панорама лесостепи Высокого Заволжья

Остановка №6 «ООПТ «Нефтяной овраг». Памятник природы является рефугиумом для представителей флоры и фауны, где происходит пополнение упавших местообитаний соседних антропогенно преобразованных территорий. Это древняя балка, расположенная между увалами, выходящая устьем в долину реки Шунгут. Площадь оврага составляет 53,4 га. Юго-западный лесостепной склон покрыт разнотравно-типчаково-ковыльной степью, расположившейся между участками широколиственного леса, образованного дубом обыкновенным, кленом платановидным и берёзой повислой. Производившаяся здесь добыча нефти прекращена в 60-е годы прошлого века.

Остановка №7 «Васильевский лес». Васильевский лес расположен в 1,5 – 2 км от деревни Васильевка. Объект имеет богатую флору, здесь произрастают редкие виды растений. Кроме того, отдельные участки леса имеют достаточно интересную историю. К таковым можно отнести: Липовый овраг, Попову поляну, Родник и т.д.

Расстояние между остановками 1 и 2 – примерно 2 км, остановками 2 и 3 – 1 км, остановками 3 и 4 – 2 км, остановками 4 и 5 – 1 км, остановками 5 и 6 – 2 км, остановками 6 и 7 – 2 км. При обеспечении экскурсионной группы автомобильным транспортом время экскурсии около 3 часов. При пешем маршруте на остановке 4 «Деревня Васильевка» запланирован обеденный перерыв.

В настоящее время некоторые объекты природы Сергиевского района Самарской области испытывают весомую нагрузку, однако чаще всего она либо совсем не регламентируется, либо регламентируется очень незначительно. В основном процесс посещения природных комплексов Самарской области, не относящихся к заповедникам и национальным паркам, строится на сознательности и экологиче-

ской культуре рекреантов. В связи с этим Голубое озеро и некоторые другие природные комплексы трансформируются, а иногда и деградируют под высокой антропогенной нагрузкой.

Местные жители радеют за сохранность природных комплексов. Местные школьники ходят на экскурсии, изучают особенности и красоты родного края. Силами местного населения, в первую очередь учителей и школьников, осуществляются экологические акции, в том числе по сбору мусора, оставленного стихийными туристами.

Однако создание действующих экологических троп может помочь в деле охраны биологического разнообразия территории, сохранения природных объектов и культуры населения.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Голубая книга Самарской области: Редкие и охраняемые гидробиоценозы* / под ред. Г.С. Розенберга, С.В. Саксонова. Самара: СНЦ РАН, 2007. 200 с.

*Зеленая книга Самарской области: Редкие и охраняемые растительные сообщества* / под ред. Г.С. Розенберга, С.В. Саксонова. Самара: СНЦ РАН, 2006. 201 с.

*Ильина В. Н., Ильина Н. С., Шишкина Г. Н.* Опыт проведения ботанико-краеведческих работ со школьниками и студентами в аспекте формирования экологической культуры личности // Актуальные вопросы организации научно-методического обеспечения университетского образования: материалы международной научно-практической интернет-конференции. Минск: БГУ, 2017. С. 5763.

*Ильина В. Н., Макарова Е. А.* Изучение природно-территориальных комплексов во время школьных экскурсий: Методические рекомендации для студентов педагогических вузов. Самара: СГСПУ, 2019. 38 с.

### **ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК КАМБИАЛЬНОЙ ЗОНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО ВЫСОТЕ СТВОЛА**

**Н. В. Афошин, Т. В. Тарелкина, Н. А. Галибина, С. А. Мошников,  
Д. С. Иванова, Л. И. Семёнова**

Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Карельский научный центр Российской академии наук", Петрозаводск

E-mail: [afosh.nik843@gmail.com](mailto:afosh.nik843@gmail.com)

Камбий является основной латеральной меристемой ствола и играет ключевую роль в формировании проводящих тканей древесных растений в период активного роста. В работах различных авторов отмечается увеличение ширины приростов ксилемы с увеличением высоты в пределах ствола дерева (Larson, 1994; Антонова,

1999). В то же время особенности строения камбия и величина приростов флоэмы на разных высотах изучены недостаточно. Цель работы заключалась в изучении особенностей строения камбиальной зоны у деревьев сосны на разной высоте ствола.

Исследование проводилось в Мурманской области вблизи заповедника «Пасвик». Была заложена пробная площадь в сосняке брусничном, возраст древо-стоя 80 лет. На пробной площади были подобраны 5 модельных деревьев, близкие по высоте и диаметру. Все подобранные деревья превосходили средние по древо-стоя на 20–30% по своим характеристикам, имели хорошо развитую крону и не имели видимых повреждений. В начале июля 2022 года модельные деревья были спилены и были отобраны образцы на разных высотах ствола, начиная с 0.3 м и далее через 1 метр (1, 2... 9, 10 м). Сразу после извлечения образцы были зафиксиро-ваны в 3% глутаровом альдегиде и хранились в холодильнике до дальнейшей обра-ботки. Также в непосредственной близости от точки отбора образца для исследова-ния характеристик камбиальной зоны были отобраны керны для определения воз-раста камбия в точке отбора.

Фиксацию образцов и изготовление поперечных срезов проводили в лаборато-рии по стандартным методикам (Mollenhauer, 1964). Срезы толщиной 2 мкм изго-тавливали на ультратоме Ultratome IV (LKB, Швеция), окрашивали 1% водным рас-твором сафранина. Постоянные препараты монтировали с использованием синтети-ческой монтирующей среды Витрогель. Исследования осуществляли с помощью светового микроскопа AxioImager A1 (Carl Zeiss, Германия) с камерой ADF Pro (ADF Optics, Китай) и программного обеспечения ImageJ (НИН, США). На срезах подсчитывали число клеток в камбиальной зоне и измеряли ширину камбиальной зоны. Также подсчитывали число клеток флоэмы и ксилемы.

Максимальные значения возраста камбия в точке отбора образца были зафик-сированы у основания ствола и составляли 60–90 лет. По мере подъема по стволу возраст камбия уменьшался и у вершины составлял 5–10 лет. Микроскопический анализ отобранных образцов показал, что у всех исследованных деревьев число кле-ток ксилемы, отложенных камбием с начала вегетационного периода, увеличивалось по высоте ствола. При этом не были выявлены существенные различия в числе кле-ток флоэмы на разных высотах. У одного из исследованных деревьев число клеток флоэмы увеличивалось по высоте ствола (от 4 клеток у основания стола до 11 кле-ток на вершине ствола). У остальных 4 деревьев число клеток флоэмы на разной вы-соте отбора достоверно не отличалось и составляло 8–12 клеток. Полученные дан-ные согласуются с результатами, полученными другими авторами для ширины фло-эмы на разной высоте ствола (Cardoso et al., 2019).

Число клеток в камбиальной зоне значительно не отличалось на разных высо-тах отбора. По результатам измерений радиального диаметра камбиальных клеток и общей ширины камбиальной зоны не удалось выявить закономерности в различиях этих параметров по высоте ствола. У дерева 1 наиболее крупные клетки камбия рас-полагались в середине ствола. У дерева 2 размеры клеток камбия уменьшались с вы-



сотой отбора. У остальных 3 деревьев различия в размерах клеток камбия не выявлены. Ширина камбиальной зоны в точках отбора тесно коррелировала с числом клеток.

Таким образом, более молодой камбий на вершине ствола продуцирует большее число клеток ксилемы в течение вегетационного периода по сравнению с более старым камбием, находящимся у основания ствола. Активность камбия в сторону отложения клеток флоэмы практически не отличается на разной высоте. Не были выявлены закономерности в различиях размеров клеток камбия разного возраста (на разной высоте ствола).

*Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 21-14-00204 «Закономерности формирования ядровой древесины у сосны обыкновенной в диапазоне климатических условий: физиолого-биохимические и молекулярно-генетические механизмы».*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Антонова Г. Ф.* Рост клеток хвойных. Новосибирск: Сибирская издательская фирма «Наука» РАН, 1999. 227 с.

*Larson P. R.* Vascular cambium: development and structure. Berlin Heidelberg: Springer, 1994. 725 p.

*Cardoso S., Quilhó T., Pereira H.* Influence of cambial age on the bark structure of Douglas-fir // Wood Sci. Technol., 2019. V. 53. P. 191210.

*Mollenhauer H. H.* Plastic embedding mixtures for use in electron microscopy // Stain Technol., 1964. V. 39. P. 111–114.

### **АФИЛЛОФОРОВЫЕ ГРИБЫ КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**А. Ю. Байран\*, Д. А. Косолапов\*\*, А. А. Ефимова\***

\*Костромской историко-архитектурный и художественный музей-заповедник, Кострома

E-mail: [t.bairan@yandex.ru](mailto:t.bairan@yandex.ru)

E-mail: [anef-lita@yandex.ru](mailto:anef-lita@yandex.ru)

\*\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [kosolapov@ib.komisc.ru](mailto:kosolapov@ib.komisc.ru)

Костромская область является одним из самых лесистых регионов России. Несмотря на это – грибы, имеющие огромное экологическое и хозяйственное значение, относятся к наименее изученным макротаксонам Костромской области. Изучение микобиоты в регионе на протяжении всей истории естественнонаучных

исследований носило локальный и бессистемный характер, поэтому актуальной задачей для региона является изучение афиллофоровых грибов как одного из важнейших гетеротрофных компонентов лесных экосистем.

Наиболее ранним литературным источником, содержащим сведения об афиллофоровых грибах Костромской области, является монография А. С. Бондарцева, посвященная трутовым грибам европейской части СССР и Кавказа. Для современной Костромской области в работе приводятся сведения о 14 видах грибов этой группы; конкретные точки находок не указываются. В период с 1965 по 1973 гг. изучением грибов Костромской области занимался Г. И. Лебедев. Его работа охватывает северо-запад региона. В своей рукописи автор приводит данные о 192 видах макромицетов Чухломского района. На сегодняшний день работу Лебедева можно считать единственной специально направленной на изучение микобиоты региона.

С 1978 по 1980 годы ряд исследований осуществлялись в рамках комплексного изучения экологии грибов макромицетов под руководством Л. Г. Буровой. Одной из площадок для стационарных исследований была выбрана территория костромской южнотаежной станции ИЭМЭЖ АН СССР (Мантуровский район). Однако видовой состав для конкретных обследованных территорий не приводится и такие данные для Костромской области отсутствуют. В 1998 году также на территории Мантуровского района во время полевой практики биологического кружка Дарвиновского музея "ВООП" были проведены исследования по изучению состава дереворазрушающих грибов. По результатам работы опубликован аннотированный список, включающий 23 вида дереворазрушающих грибов (Шмыков, Полтева, 1999). В определении образцов помогала ассистент МГУ им. М. В. Ломоносова Т. Н. Барсукова. Значительный вклад в изучение микобиоты Костромской области был внесен в ходе исследовательских работ в государственном природном заповеднике «Кологривский лес». В 1979 г. сотрудники Института лесоведения РАН совместно со специалистами Костромской лесной опытной станции начали исследования по изучению девственных лесов Кологрива, которые продлились до 2010 года. За время исследования было выявлено 46 видов дереворазрушающих грибов заповедника «Кологривский лес» (Стороженко, Коткова, 2013). Также, В. Г. Стороженко (1994) в своей диссертационной работе приводит информацию о 21 виде афиллофороидных макромицетов Кологрива, относящихся, главным образом, к семейству полипоровых грибов. В 2021 году на территории заповедника преподаватели и студенты Костромского государственного университета изучали видовой состав ксилотрофных базидиомицетов. В работе приводится информация о 29 видах афиллофоровых грибов. Упомянутая находка *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. не имеет подтверждений. Начиная с 2016 года выходит серия публикаций: «Новые микологические находки для регионов России» и «Новые виды для микобиот регионов России». В третьем выпуске серии «Новые микологические находки для регионов России» (Коткова, 2019) для Костромской области приводится

6 видов грибов, обнаруженные в XX веке Г. И. Лебедевым, а также В. Н. Сукачевым. В серии «Новые виды для микобиот регионов России» со второй по седьмой выпуски для разных районов Костромской области указывается 32 вида афиллофоровых грибов, обнаруженных, главным образом, во время ботанических исследований А. В. Леостриным и А. А. Ефимовой. Также существует статья Э. В. Марамохина, посвященная ксилотрофным базидиомицетам Костромской области (Марамохин, 2020). Данная работа вызывает определённые сомнения, поскольку в ней автор приводит разноречивые данные о количестве и видовом составе данной группы. Упомянутые виды не имеют гербарных подтверждений, приводятся без указания конкретных местонахождений и ссылок на литературные источники.

Таким образом, анализ литературных данных показал, что с середины XX века и до начала настоящей работы на территории Костромской области планомерных исследований афиллофоровых грибов не проводилось и имеются лишь отрывочные данные, относящиеся в основном к территории заповедника «Кологривский лес». Исходя из результатов достоверных литературных источников до начала нашего исследования для региона было известно 106 видов афиллофоровых грибов, относящихся к 9 порядкам, 32 семействам и 74 родам. Таксономический анализ афиллофороидных макромицетов Костромской области выявил, что наиболее крупными порядками на сегодняшний день являются *Polyporales* (57 видов) и *Hymenochaetales* (27 видов). Ведущие семейства – *Hymenochaetaceae* (20 видов), *Polyporaceae* (15 видов) и *Fomitopsidae* (11 видов). Средняя видовая насыщенность семейств составляет 3.2, родов – 1.4. Наибольшее число видов насчитывают роды *Phellinus* и *Trametes* (по 6 видов). Полученные данные говорят о крайне слабом уровне изученности афиллофоровых грибов на территории Костромской области и доказывают актуальность исследования.

В 2022 году мы начали новые специальные исследования, направленные на изучение видового состава, экологической структуры и географического распространения афиллофоровых грибов Костромской области. В результате первых полевых выходов было обнаружено 25 видов афиллофоровых грибов, из которых два вида – *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill и *Daedaleopsis tricolor* (Bull.) Bondartsev et Singer стали новыми для области. Идентификация образцов осуществлялась в отделе флоры и растительности Севера Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Собранный материал хранится в отделе природы Костромского музея-заповедника.

#### ЛИТЕРАТУРА

Коткова В. М., Колганихина Г. Б. Новые микологические находки для регионов России. 3 // Новости систематики низших растений, 2019. Т. 53 (1). С. 7988.

Лебедев Г. И. Материалы по изучению грибной флоры Чухломского района. Рукопись, 1965-1973 г. 200 с. (архивные данные)

Мармохин Э. В. Ксилотрофные базидиомицеты мелколиственных лесов Костромской области // Вестник Нижневартковского государственного университета, 2020. № 1. С. 49.

Стороженко В. Г. Грибные дереворазрушающие комплексы в генезисе еловых биогеоценозов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 1994. 44 с.

Стороженко В. Г., Коткова В. М. Состояние коренных ельников и дереворазрушающие грибы (Basidiomycota) заповедника «Кологривский лес» (Костромская область) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2013. № 3. С. 1725.

Шмыков А. Б., Полтева Т. Ю. Аннотированный список видов древоразрушающих грибов Костромской таёжной станции // Вестник ВООП, 1999. Вып. 5. Режим доступа: [http://ecosystema.ru/voop/works/v05\\_08.htm](http://ecosystema.ru/voop/works/v05_08.htm) (дата обращения: 20.02.2023)

## БИОЛОГИЯ *VERBASCUM NIGRUM* L. НА СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ АРЕАЛА

**В. С. Васюта, Т. Ю. Дьячкова**

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

E-mail: [nikusha.2001@yandex.ru](mailto:nikusha.2001@yandex.ru)

E-mail: [tdyachkova@mail.ru](mailto:tdyachkova@mail.ru)

В последние десятилетия в республике Карелия отмечена тенденция деградации лугов в результате их зарастания древесными видами растений и процессов естественного заболачивания (Государственный доклад..., 2017, 2019–2021.). В результате этого многим луговым видам может грозить ухудшение состояния популяций вплоть до их исчезновения из состава сообществ и тревогу вызывают виды, произрастающие в луговых биотопах на границе своего ареала. Одним из таких видов в республике является *Verbascum nigrum* L. (Scrophulariaceae) – коровяк черный (Норичниковые), произрастающий в южных флористических районах Карелии (Кравченко, 2007) у северной границы своего ареала.

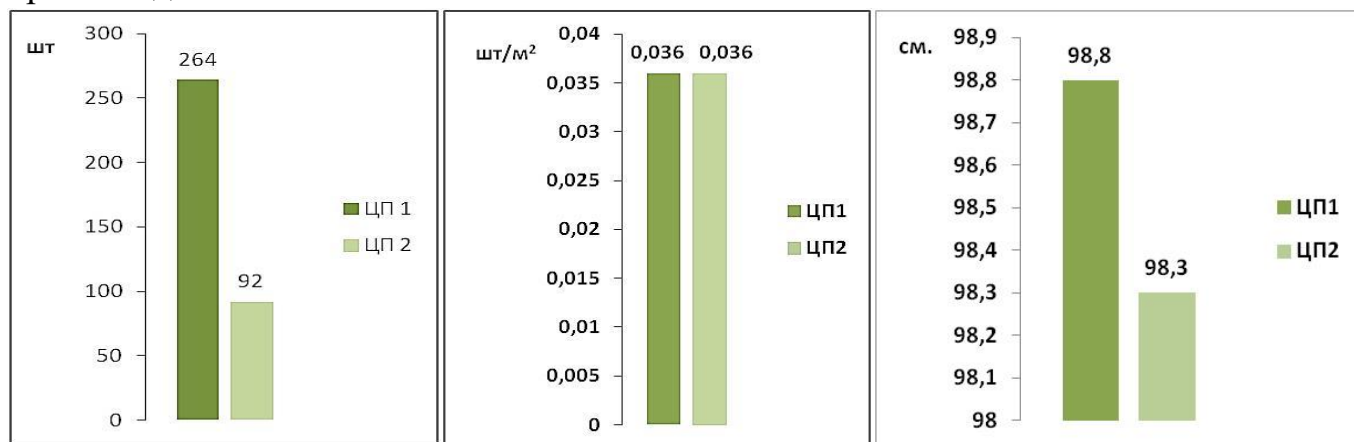
Целью данной работы был изучение биологических особенностей *V. nigrum* и оценка современного состояния ценопопуляций (ЦП) для прогнозов дальнейшего существования вида. Исследования проведены на о. Кижы, на территории музея-заповедника «Кижы». В качестве модельных биотопов были выбраны два луговых сообщества ассоциации *Phleetum eutrophicum* (Знаменский, 2005), в составе которых произрастал *V. nigrum*. В пределах каждого сообщества заложены пробные площади (ПП) в границах естественного выдела, определен видовой состав сообществ по общепринятой методике (Ипатов, 2000), определены численность ЦП и экологическая плотность особей (Дьячкова, Тимофеев, 2001), определены сроки и продолжительность основных фаз сезонного развития растений.

Размеры пробных площадей, определенные в границах размещения особей *V. nigrum* в фитоценозах составили 2550 м<sup>2</sup> (ПП 1) и 7400 м<sup>2</sup> (ПП 2). Общий флористический состав двух изученных фитоценозов с участием *V. nigrum* включал 50 видов

сосудистых растений. Более богатым по видовому составу был фитоценоз на ПП 1 (46 видов), в то время как на ПП 2 зафиксирован 31 вид. Общих видов – 27, из них наибольшее проективное покрытие отмечено для *Achillea millefolium* L., *Chamaenerion angustifolium* L., *Linaria vulgaris* Mill., *Campanula glomerata* L., *Filipendula ulmaria* L.

Ценопопуляции *V. nigrum* отличались по общей численности, но при этом экологическая плотность особей была практически одинакова (рис. А, С). ЦП 1 находится на значительном расстоянии от мест активного посещения острова туристами и растений не испытывают в летний период такого антропогенного влияния, как в месте нахождения ЦП 2. Одинаковое значение показателя экологической плотности особей в обеих ЦП можно объяснить тем, что площадь, занятая ЦП 1 больше и в ней же больше численность, следовательно на единицу площади число особей оказалось практически одинаковым.

В обеих ЦП преобладали вегетативные особи в соотношении 1:2. По биоморфе *V. nigrum* двулетнее растение и основной способ самоподдержания ЦП – семенное размножение, при этом большую роль для успешного самовозобновления играет жизнеспособность семян после зимнего периода. Как показывают результаты проведенного исследования, на изучаемой территории для данного вида условия благоприятны для семенного возобновления.



А Численность ценопопуляций (А), экологическая плотность особей (Б) и высота генеративных особей (С) *V. nigrum*

Одним из показателей жизненного состояния ЦП является мощность особей, косвенно оцениваемая по морфологическим показателям, в данном случае по высоте генеративных особей (рис. С). Меньшая высота растений в ЦП 2 вероятно тоже может быть причиной ежегодной антропогенной нагрузки на этот биотоп.

Полученные нами результаты изучения *V. nigrum* на территории с его высокой встречаемостью свидетельствуют о том, что в настоящее время состояние ЦП, исходя из высокой общей численности, экологической плотности особей и их мощности, можно оценить как удовлетворительное. Однако следует отметить, что активное ан-

тропогенное влияние (вытаптывание, сенокосение лугов) и естественная деградация основных местообитаний вида может привести к сокращению численности ЦП и снижению их жизнеспособности. В связи с этим можно рекомендовать проведение мониторинга (наблюдения с интервалом 5–6 лет) для оценки состояния вида на северном пределе его произрастания.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия в 2017 году.* Петрозаводск, 2018. 257 с.

*Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия в 2019 году.* Петрозаводск, 2020. 248 с.

*Государственный доклад о состоянии окружающей среды республики Карелия в 2020 году.* Петрозаводск, 2021. 277 с.

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

Дьячкова Т. Ю., Тимофеев В. В. Популяционный анализ // Методы полевых и лабораторных исследований растений и растительного покрова : сборник статей. Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. С. 149–161.

Знаменский С. Р. Растительность суходольных лугов Заонежья (Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН, 2005. Вып. 8. С. 169–177.

Ипатов В. С. Методы описания фитоценозов. СПб.: СПбГУ, 2000. 55 с.

Кравченко А. В. Конспект флоры Карелии. Петрозаводск: Кар НЦ РАН, 2007. 403 с.

### **АНАЛИЗ УРЕДИНАЛЬНОЙ МИКОБИОТЫ РАСТЕНИЙ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ИВГУ И ПАРКА КиО им. РЕВОЛЮЦИИ 1905 года**

**Н. В. Захарова, Л. Ю. Минеева**

Ивановский государственный университет, Иваново

E-mail: [kotoyan.nina@mail.ru](mailto:kotoyan.nina@mail.ru)

E-mail: [imin1@mail.ru](mailto:imin1@mail.ru)

В северо-восточной части города Иваново на территории площадью 213 га располагается парк КиО им. Революции 1905 года, примыкающий к уникальному объекту, памятнику природы - ботаническому саду ИВГУ (Минеева, Скворцова, 2013). Следует отметить, что каждый из этих объектов является ООПТ регионального уровня, которые имеют важное рекреационное и средозащитное значение. Исходя из этого, особенно важно следить за состоянием растений данных территорий на предмет выявления фитопатологий.

При первичном анализе представителей флоры ботанического сада ИВГУ и парка КиО им. Революции 1905 года было отмечено обширное поражение растений, визуально идентифицированное по оранжево-красному налету. Подобный признак свидетельствует о заражении видов растений облигатными паразитами - ржавчин-

ными грибами, относящимися к порядку *Uredinales* (Минеева, Захарова, 2022). Деструктуризация ткани организма-хозяина, вызванная возбудителем, приводит к некрозам и опухолевым процессам. Это однозначно нарушает нормальную жизнедеятельность растения и может привести к полной его гибели.

В связи с этим, была поставлена цель: изучить видовое разнообразие урединальной микобиоты растений ботанического сада ИвГУ и парка КиО им. Революции 1905 года.

Исследование растений данной территории проводилось с мая по сентябрь 2022 г. и включало использование маршрутного метода, гербаризации фитопатологического материала, обработки полученных результатов при помощи специализированной литературы и цифрового микроскопа Motic Images Plus Version 2. OML.

В итоге научно-исследовательской деятельности было собрано и загербаризовано 96 экземпляров древесно-кустарниковой и травянистой жизненных форм, на которых выявлено 96 видов урединальных грибов (Минкявичус, 1984). Путем систематического анализа данной группы было выявлено отношение видов к 5 семействам, с подавляющим преобладанием семейства *Pucciniaceae*. Среди 14 классифицированных родов самым многочисленным является, как раз, характерный род для семейства *Pucciniaceae* – род *Puccinia*. Это можно объяснить тем, что представители данного семейства имеют большую степень адаптации к условиям окружающей среды, обусловленную такими особенностями, как разнообразие типов жизненного цикла и развитие на растениях всех жизненных форм.

В дальнейшем был проведен анализ биологических особенностей ржавчинных грибов, в результате которого совокупность видов была разделена по принципу одно-(46%) и двуххозяйности (54%). В дополнение к этому рассмотрены циклы развития патогенов по наличию стадий спороношения. Доминирующую позицию заняли двуххозяйные представители с полным жизненным циклом (33%). Подобный факт объясняется комфортными условиями окружающей среды, такими как влажность воздуха и умеренная температура, благоприятствующими прохождению ржавчинниками полного жизненного цикла со сменой хозяев.

Также были подвержены изучению пораженные ржавчиной питающие растения. Всего в ходе исследовательской деятельности было собрано 96 видов высших сосудистых растений, представленных 40 родами, принадлежащими 23 семействам. Так, наибольшее количество видов с признаками заражения ржавчинными грибами было идентифицировано в семействах *Compositae* – 13% и *Rosaceae* – 21%.

Если обратить внимание на соотношение жизненных форм растений-хозяев, то наглядно продемонстрировано преобладание травянистых растений (67%) над кустарниками (27%) и древесными формами (6%). Данные результаты также закономерны и связаны с тем, что в нашей полосе преобладают многолетние травы, а видов деревьев и кустарников значительно меньше.

Изучение органотропной специализации урединальных грибов привело к выявлению 87% видов питающих растений с поражением листовых пластинок, и 13 % видов с более обширным распространением спороношений: на листьях, стеблях и плодах. Данный факт свидетельствует о преимуществах листа как поражаемого органа. Он является оптимальным питательным субстратом для паразитических грибов, благодаря особенностям анатомического и морфологического строения, в том числе относительно большой площади, облегчающей попадание спор и их дальнейшее прорастание.

После завершения исследования видового разнообразия представителей порядка *Uredinales*, начался следующий этап работы - сопоставление полученных результатов со списком видов ржавчинных грибов, зарегистрированных на территории Ивановской области в прошлые годы. Наибольший интерес вызвали 8 видов патогенов, ранее не встречающихся на территории Ивановской области и не отмеченных в публикациях.

*Uromyces chenopodii* (Duby) Schroet., поразивший Марь белую. Данная находка обнаружена в периферической части парка им. Революции 1905 года на стадии эциоспор. Визуально идентифицировался благодаря ржаво-оранжевым пятнам на верхней стороне листовой пластинки. Данный фитопатоген является макроциклическим и однохозяйным, распространен преимущественно в Европе, Азии и Северной Америке.

Особое внимание стоит уделить такому виду как *Coleosporium petasitis* Lew DC., обнаруженному в центральной части ботанического сада ИВГУ на нижней стороне листовой поверхности на *Petasites hybridus* L. Гриб обнаружен на стадии урединиев, что и обуславливает наличие типичной симптоматики – яркого оранжевого порошащего налета. Этот паразитический организм является двуххозяйным. Цикл его развития, как и подобных ржавчинников, сопровождается сменой различных по форме и функциям спороношений, возникающих в строгой последовательности: спермогонии и эциостадия развиваются на многочисленных представителях семейства *Pinus*, а урединиостадия и телиостадия – на видах рода *Petasites*. Наиболее широко распространена «Оранжево-красная ржавчина белокопытника» на территории Европы и Азии.

В завершении хотелось бы отметить, что представленное исследование будет продолжено с целью реализации комплексного мониторинга и пополнения списка ржавчинных грибов, ведущегося микологами Ивановской области с 1923 г (Алявдина, 1928).

#### ЛИТЕРАТУРА

Алявдина К. П. Материалы по грибной флоре леса Иваново-Вознесенской губернии // Известия Иваново-Вознесенского политехнического института им. М. В. Фрунзе, 1928.Т.12. С. 147–167.



Минкявичус А. И. Определитель ржавчинных грибов Литовской ССР. Вильнюс: Изд. Моклас, 1984. С. 273.

Минеева Л. Ю., Захарова Н. В. Ржавчинные грибы травянистых растений ботанического сада ИвГУ и парка КиО им. Революции 1905 года г. Иваново // Сборник по результатам научной конференции международного научно-практического фестиваля студентов, аспирантов и молодых ученых «Научно-исследовательская деятельность в классическом университете». Иваново: ИвГУ, 2022. С. 24.

Минеева Л. Ю., Скворцова О. Е. Сведения о ржавчинных грибах ботанического сада ИвГУ // Вестник ИвГУ, 2013. С. 33–36.

## **ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДАТЫ НАСТУПЛЕНИЯ ВЕГЕТАТИВНЫХ ФЕНОФАЗ У *PINUS SIBIRICA* DU TOUR В ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДУ-ИНСТИТУТЕ**

**П. С. Зыкова, О. А. Гончарова**

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты  
E-mail: [zykovap22@gmail.com](mailto:zykovap22@gmail.com), [goncharovaoa@mail.ru](mailto:goncharovaoa@mail.ru)

Объектами исследования являются деревья сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), произрастающие на экспериментальном участке ПАБСИ (Полярно-альпийского ботанического сада-института), который расположен в окрестностях г. Апатиты Мурманской области. Они представлены 4 образцами разного возраста и происхождения, выращенными из семян преимущественно дикорастущих растений. Фенологические наблюдения за 5 модельными экземплярами проводили по методикам И. Н. Елагина (1961), Н. А. Бородиной (1965) и Н. Е. Булыгина (1979) каждые 2–3 дня в течение вегетационного периода. Для анализа выбраны следующие фенофазы вегетативного развития: набухание и распускание вегетативных почек (Пч1, Пч2), начало и окончание линейного роста побегов (Пб1, Пб2), полное одревеснение побегов (О2), завершение роста и вызревания хвои (ЛЗ), период линейного роста боковых побегов (РП). Согласно применяемым методикам наблюдений, дата наступления Пч1 и Пб1 совпадает. Для дальнейшей математической обработки фенодаты были переведены в непрерывный числовой ряд (Зайцев, 1981). Температура регистрировалась метеостанцией DEVIS envoy8x, установленной на территории экспериментального участка ПАБСИ. Под суммой активных температур (САТ) подразумевалась сумма среднесуточных температур выше 0 °С за выбранный период времени, под суммой эффективных температур (СЭТ) – сумма среднесуточных температур выше определенного температурного предела (+5 °С, +10 °С) за выбранный период времени. В результате был сформирован банк фено- и метеоданных за 7 лет (2015–2021 год), обработанный с помощью методов описательной статистики в программах MS Excel. Для изучения корреляции между датами наступле-

ния фенофаз и метеорологическими показателями использовали ранговый коэффициент корреляции Спирмена (Зайцев, 1973) в программе Statistica 8. Учитывалась его статистическая значимость (уровень значимости  $p \leq 0,05$ ). Сила связи оценивалась по шкале Чеддока (Баврин, Борисова, 2021). При интерпретации результатов учитывались средние, сильные и очень сильные корреляционные связи.

В таблице представлены обобщенные многолетние данные для вида в целом. Изучаемые фенофазы расположены от самой ранней до самой поздней. Соответствующим образом увеличиваются САТ и СЭТ.

Таблица

Медианы дат наступления фенофаз и соответствующие им САТ и СЭТ

Параметр	Пч1, Пб1	Пч2	Пб2	ЛЗ	О2	РП
Ме [МКИ]	31.V [24.V; 3.VI]	8.VI [4.VI; 14.VI]	30.VI [23.VI; 11.VII]	27.VII [18.VII; 7.VIII]	24.VIII [14.VIII; 2.IX]	35 [29; 41]
САТ(0)	199.2 [158.3; 247.8]	299.8 [260.4; 325.2]	585.6 [525.2; 628.7]	933.4 [889.0; 987.4]	1348.8 [1120.4; 1442.3]	406.4 [356.6; 455.6]
САТ(5)	128.2 [99.5; 184.4]	258.6 [192.4; 272.2]	515.3 [448.3; 590.4]	862.5 [810.1; 914.5]	1285.3 [1053.8; 1370.3]	–
САТ(10)	0 [0; 18.6]	0 [0; 104.4]	291.6 [129.7; 369.9]	666.5 [418.7; 741.9]	934.4 [817.6; 1223.9]	–
СЭТ(5)	121.55 [99.4; 171.5]	235.3 [171.7; 259.4]	503.5 [442.4; 566.0]	838.8 [792.5; 910.2]	1264.25 [1037.9; 1345.0]	403.0 [343.1; 437.2]
СЭТ(10)	0 [0; 18.6]	0 [0; 104.4]	281.6 [119.7; 307.5]	599.2 [395.7; 709.3]	788.7 [720.9; 1089.2]	302.0 [228.4; 339.6]

Примечание. Данные в графах представлены в виде: Ме – медиана, [МКИ] – межквартильный интервал [25% процентиль; 75% процентиль]. Расшифровка сокращений названий фенофаз дана в Материалах и методах. САТ (0), САТ (5), САТ (10) – суммы активных температур от даты устойчивого перехода через 0, 5, 10 °С до определенной фенодаты, СЭТ(5), СЭТ(10) – суммы эффективных температур выше +5 и +10 °С от даты устойчивого перехода через +5 и +10 °С соответственно до определенной фенодаты.

На основании корреляционного анализа для *Pinus sibirica* Du Tour в условиях Мурманской области выявлены следующие закономерности:

1. Наибольшее количество межфазовых корреляций (корреляций между фенодатами) выявлено для ранних фенофаз (Пч1, Пч2, Пб1); наименьшее – у РП.

2. Следующие температурные показатели сопряжены со сроками наступления наибольшего количества фенофаз: дата устойчивого перехода через +5 °С, продолжительность периода с устойчивой среднесуточной температурой воздуха выше 0 °С и +5 °С и САТ за эти периоды.

3. Дата устойчивого перехода через +10 °С и вычисленные на ее основе показатели, продолжительность предшествующего вегетации периода с устойчивыми отрицательными температурами обладают наименьшим количеством значимых корреляционных связей и малоинформативны.

4. Наиболее сопряжены с температурными показателями сроки наступления ЛЗ и О2 (корреляции с 11 показателями), наименее – РП (с 5 показателями).

5. Для прогностических целей, возможно, могут быть использованы: для Пч1, Пч2, Пб1: дата устойчивого перехода через 0 °С и через +5 °С; для Пб2: САТ(0), САТ(5), САТ(10), СЭТ(5); для ЛЗ: дата устойчивого перехода через +5 °С и +10 °С, САТ(0); для О2: дата устойчивого перехода через 0 °С и +5 °С, САТ(0), САТ(5), СЭТ(5); для РП: дата устойчивого перехода через +5 °С, САТ(0), СЭТ(5).

Для прогнозирования сроков наступления наибольшего количества фенофаз могут быть использованы: дата устойчивого перехода через 0 °С и +5 °С, сумма активных температур от даты устойчивого перехода через 0 °С, сумма эффективных температур от даты устойчивого перехода через +5 °С.

*Работы выполнены на УНУ «Коллекции живых растений Полярно-альпийского ботанического сада-института», рег. № 499394, в рамках темы «Комплексный анализ методик оценки декоративности и их применения к древесным растениям Крайнего Севера (на примере коллекции интродуцированных древесных растений ПАБСИ КНЦ РАН)», № гос. регистрации 1021071612833-7-1.6.11.*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Баврина А. П., Борисов И. Б.* Современные правила применения корреляционного анализа // Медицинский альманах, 2021. № 3 (68). С. 70–79.

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

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

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

*Зайцев Г. Н.* Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1973. 256 с.

### **ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ЗАПОВЕДНЫХ ЛЕСОВ КРЫМА**

**Р. С. Ибрагимов**

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург  
E-mail: [ibragimov.reshid@mail.ru](mailto:ibragimov.reshid@mail.ru)

В статье на одном из примеров представлена техническая составляющая применения аэрокосмических снимков для лесопатологического мониторинга заповедных лесов и иных ООПТ на землях лесного фонда Республики Крым. Представлены

преимущества и недостатки метода дистанционного зондирования земли при оценке состояния и управления особоохраняемыми природными территориями на землях лесного фонда Республики Крым.

Исходя того что полномочия по защите лесов на подведомственных территориях переданы субъектам Федерации, для информационной поддержки принимаемых решений по локализации и ликвидации очагов вредителей и возбудителей болезней, ведению санитарно-оздоровительных мероприятий, региональным органам управления лесным хозяйством, необходимо оперативное информирование о состоянии лесов, одним из источников информации является применение дистанционного зондирования, аэрокосмический мониторинг лесов.

Лесопатологический мониторинг представляет собой управление в области защиты лесов и обеспечение санитарной безопасности в лесах, опираясь на обнаружение, оценку и прогноз изменения санитарного и лесопатологического состояния лесов. В частности, в исследовании А. М. Крылова с соавт. (2012), описывается опыт использования свободной ГИС «QuantumGIS» в системе дистанционного лесопатологического мониторинга в ФГУ «Рослесозащита». Рассматривается современная методика дистанционного мониторинга непирогенных усыханий, перечисляются источники данных и методы их обработки в среде ГИС.

В исследовании А. А. Савченко (2015), представлен анализ мониторинга санитарного и лесопатологического состояния лесов с помощью дешифрирования данных космической съемки, показаны преимущества данного способа перед остальными, охарактеризованы актуальность и потенциал применения.

Объектом является система аэрокосмического зондирования лесов Крыма.

Предметом является техническая составляющая применения аэрокосмических снимков для лесопатологического мониторинга заповедных лесов и других ООПТ на землях лесного фонда Крыма

Целью является определение актуального метода аэрокосмического мониторинга санитарного состояния заповедных лесов и других ООПТ на землях лесного фонда Крыма.

Задачи: описать существующие методы аэрокосмического мониторинга за санитарным состоянием лесов, провести анализ о преимуществах и недостатках каждого, определить наиболее актуальный метод получения информации о санитарном состоянии заповедных лесов и иных ООПТ на землях лесного Фонда Республики Крым.

Материалами являются, научные публикации и иные источники по теме исследования. Для достижения поставленной цели исследования в работе используются, общенаучные и специальные подходы и методы обоснования результатов и предложений, формулируемых в исследовании: синтез, индукция, дедукция, структурно-функциональный подход. В ходе исследования проведен анализ публикаций аэрокосмических исследований лесов и их применимость к заповедным лесам Крыма. Выборка осуществлялась на основании критериев, учитывающих зональные и мате-

риально-технические факторы (уровень детализации, требуемый для лесного хозяйства), а также применяемые материалы и методы исследования.

Осуществление лесопатологического мониторинга находится в ведении Центра защиты леса (ЦЗЛ) ФБУ «Рослесозащита». Данные, полученные по итогу осуществления лесопатологического мониторинга, применяются для решения следующих задач: разработка тематических карт; предварительное определение границ и расчет площади древостоев, на которых выявлены изменения санитарного и лесопатологического состояния; выбор очередности объектов детального (наземного) обследования.

Лесопатологическое обследование и исследование санитарного состояния представляет собой регулярный мониторинг либо выборочные исследования определенного массива, определенной породы. При отсутствии ярко выраженных повреждений лесных массивов т.е. при отсутствии необходимости в проведении срочного исследования, плановый мониторинг с применением аэрокосмических снимков осуществляется в июле – августе. В данное время года ярко выражены контрастирующие состояния лесов. Регулярный дистанционный мониторинг проводится на постоянных пунктах наблюдения, которые характеризуют определенную, наиболее типичную группу по следующим признакам: породный состав; главные и второстепенные лесобразующие породы; класс возраста; полнота; бонитет. Сумма всех пробных площадей должна отображать наибольшую репрезентативность о состоянии лесного массива.

Использование аэрокосмических снимков целесообразно на лесных участках площадью более 1.0 га. При этом применяется многоканальный сканер. При условии обнаружения высокой и средней лесопатологической угрозы, результаты аэрокосмического мониторинга являются одним из оснований для планирования объемов и мест проведения работ по государственному лесопатологическому мониторингу наземными методами на следующий год.

Практикуется наложение снимков, полученных из разных источников (Жернова, 2019), в т. ч. и снимков, полученных в разные временные периоды, в результате чего проявляется более высокая достоверность информации о лесопатологическом и санитарном состоянии лесов. В частности, на рисунке представлено изображение участка сосны крымской (лат. *Pinus nigra subsp. pallasiana* P.) в Симферопольском лесничестве, лесопарковом участковом лесничестве квартал 71, выдел 11, где изображен показательный сухостой сосны крымской (лат. *Pinus nigra subsp. pallasiana* P.).

Данный случай является показательным, ведь исследуемая территория расположена в непосредственной близости с ООПТ регионального значения «Дендропарк им. В. М. Печоркина». Снимок А сделан в 2008 году, снимок Б – в 2022 году. По результатам предварительного обследования территория внесена в лесопатологический реестр 2022 года, вследствие чего представлено заключение, что данный

древостой поврежден корневой губкой (лат. *Heterobasidion annosum*). Назначены санитарные мероприятия по ликвидации очага возбудителей болезней и ликвидации последствий для предотвращения распространения инфекции с последующим оздоровлением леса.

А



Б



Участок сухостоя сосны крымской (лат. *Pinus nigra subsp. pallasiana* P.) в Симферопольском лесничестве по данным 2008 (А) и 2022 (Б) года.

Вывод: с целью получения актуальной информации о санитарном и лесопатологическом состоянии древостоев заповедных лесов и других ООПТ на землях лесного фонда Крыма актуальным является применение космических снимков, полученных в результате применения многоканального сканера на искусственных спутниках земли.

#### ЛИТЕРАТУРА

Жернова А. П. Технологии автоматизации дешифрирования снимков в лесной таксации // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве : материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых. С.-Петербург, 2019. С. 173–177.

*Крылов А. М., Владимирова Н. А., Малахова Е. Г.* Использование свободных ГИС в системе дистанционного лесопатологического мониторинга // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник, 2012. №1. С. 148–152.

*Савченко А. А., Выводцев Н. В.* Оценка возможностей применения данных дистанционного зондирования при мониторинге санитарного и лесопатологического состояния лесов // Ученые заметки ТОГУ, 2015. Т. 6. № 4. С. 658–661.

## **ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФЛОРЫ СЕЛИТЕБНЫХ РАЙОНОВ ГОРОДА КЕМЕРОВО**

**К. А. Калабина\*, Б. Г. Андреев\*\***

\*Томский государственный университет, Томск

E-mail: [kalabina.k.a@mail.ru](mailto:kalabina.k.a@mail.ru)

\*\*Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, Кемерово

E-mail: [b.g.andreev@mail.ru](mailto:b.g.andreev@mail.ru)

Город – среда обитания человека, результат его целенаправленной деятельности. Однако, по сравнению с естественными средами обитания, информации о закономерностях флорогенеза как в самом городе, так и его частях мало. Особый интерес представляет флора жилых территорий: многоэтажной, одноэтажной и приусадебной зон.

Цель: изучение таксономической структуры флоры жилой зоны города Кемерово.

Для выявления особенностей флорогенеза в городе Кемерово был использован метод модельных выделов (Ильминских, 2014), в каждой функциональной зоне в зависимости от степени представленности по площади было заложено по несколько пробных площадей квадратной формы 250x250 м, в которых в течение сезона несколько раз проводилось выявление видового состава высших сосудистых растений. Материалы собирались с апреля по октябрь 2021–2022 гг. В основе классификации модельных выделов лежит степень трансформации почвенного покрова и регулярность антропогенного воздействия. Были выделены зоны многоэтажной, одноэтажной и приусадебной застройки, для которых было заложено 10, 9 и 6 участков соответственно.

Флора зоны жилой застройки города Кемерово представлена 370 видами из 242 родов и 66 семейств. Доля однородных семейств составляет 54.5%, одновидовых семейств – 31.82%, одновидовых родов – 68.2%. Доля видов в 10 ведущих родах – 12.7%, в 10 ведущих семействах – 63. Доля родов в 10 ведущих семействах составила 62.4%. Во флоре преобладают аллохтонные процессы: значение индекса Малы-

шева – 0.652 (Зверев, 2007), что демонстрирует значительное преобладание процессов заноса над видообразованием.

В зоне многоэтажной застройки общее число видов составило 346, общее число родов 213, общее число семейств 61. Зона одноэтажной застройки представлена 339 видами, 223 родами из 60 семейств. В зоне приусадебной застройки общее число видов составило 245, общее число родов 183, общее число семейств 54. Доля одновидовых родов и одновидовых семейств высокая: выше 67% и выше 51% соответственно. Наибольшая доля одновидовых родов отмечена в приусадебной зоне (75.41%). Доля одновидовых (39.34%) и однородовых (60.66%) семейств в зоне многоэтажной застройки больше, чем в остальных по причине более регулярного кошени и за счет близости к дорожной сети. Доли видов и родов в 10 ведущих таксонах между функциональными зонами города практически не отличаются, но ключевые черты отображены в рангах ведущих семейств и родов (табл.)

Таблица

#### Ключевые таксономические характеристики флоры жилой зоны города Кемерово

Функциональная зона города	Многоэтажная застройка	Одноэтажная застройка	Приусадебная застройка
Общее число видов	346	339	245
Общее число родов	213	223	183
Общее число семейств	61	60	54
Доля одновидовых родов, %	67.61	70.4	75.41
Доля одновидовых семейств, %	39.34	38.33	35.19
Доля однородовых семейств, %	60.66	53.33	51.85
Доля видов в 10 ведущих родах, %	16.76	13.86	13.88
Доля видов в 10 ведущих семействах, %	63.58	64.9	65.31
Доля родов в 10 ведущих семействах, %	64.32	64.13	64.48

Во всех исследуемых зонах города семейство Asteraceae занимает ведущую позицию по числу родов и видов. Это обусловлено большим числом видов рода *Artemisia*, занимающим ведущие позиции и включающим в себя 7 видов, а также родов *Crepis* и *Cirsium*, представленных 4 и 5 видами соответственно. Также стоит отметить семейство Rosaceae, занимающее вторую позицию по количеству видов и родов. Такое обилие достигается за счет большого числа видов рода *Potentilla*, представленного 10 видами. Также древесные и кустарниковые виды данного семейства активно используются для озеленения жилой зоны, например *Rosa rugosa* Thunb., *Spiraea chamaedryfolia* L., *Sorbus sibirica* Hedl. Значительный вклад в видовое и родовое разнообразие вносит семейство Brassicaceae, преимущественно за счет рудеральных видов: часто на территории города встречаются *Bunias orientalis* L., *Berteroa incana* (L.) DC., *Lepidium ruderale* L. и *L. densiflorum* Schrad. Семейство Fabaceae входит в 10 ведущих семейств преимущественно за счет родов *Medicago* (4 вида) и *Vicia* (5 видов). Семейство Chenopodiaceae не входит в 10 ведущих семейств по количеству родов, однако входит в 10 ведущих семейств по количеству видов из-



за значительного вклада родов *Atriplex* и *Chenopodium*, включающих 5 и 6 видов соответственно.

Для флор жилой застройки города Кемерово были вычислены значения коэффициента Жаккара (Шмидт, 1984). Степень сходства многоэтажной застройки с одноэтажной составила 0.51, с приусадебной 0.44. Степень сходства одноэтажной застройки с приусадебной составила 0.45. Из чего можно сделать вывод, что зона приусадебной застройки в меньшей степени сходна с остальными. Выявлены достоверные различия между списками флор одноэтажной и приусадебной зон, несмотря на внешние сходства условий произрастания растений, большей степени различия обусловлены характером и регулярностью антропогенной нагрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Ильминских Н. Г.* Флорогенез в условиях урбанизированной среды. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2014. 470 с.

*Шмидт В. М.* Математические методы в ботанике. Ленинград: Изд-во Ленинградского ун-та, 1984. 288 с.

*Зверев А. А.* Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. 304 с.

### **БИОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФЛОРЫ ЛИШАЙНИКОВ ПРИРОДНОГО ПАРКА «ЩЕРБАКОВСКИЙ»**

**В. С. Ковшарева, В. В. Серебрянская**

Волгоградский государственный социально-педагогический университет, Волгоград

E-mail: [varvarakovshareva@yandex.ru](mailto:varvarakovshareva@yandex.ru); [serebryanskaya.leta@mail.ru](mailto:serebryanskaya.leta@mail.ru)

В настоящее время в нашем регионе большое количество времени уделяется на комплексное изучение и мониторинг биоты особо охраняемых природных территорий. В рамках федеральной программы «Лишайники России» вот уже несколько лет подряд экспедиционный отряд ИЕНО, ФК и БЖ нашего университета занимается изучением лишенобиоты особо охраняемых природных территорий, расположенных в нашем регионе, которой и является природный парк «Щербаковский».

Общая площадь природного парка составляет 3256 га, протяженность границ 26.7 км. Основу природного комплекса составляют зональные степные сообщества. Лесные сообщества в основном представлены интразональными и искусственными насаждениями.

Нами экспедиционные выезды на данную территорию проводятся планомерно с 2006 года. В данной статье мы рассмотрим результаты, полученные в ходе экспедиции этого года. В результате проведенных исследований для территории природного

парка «Щербаковский» выявлен современный видовой состав лишенофлоры, спектр биоморф (табл.).

Таблица

## Биоморфологическая структура лишайников

Отдел	Тип	Класс	Группа	Подгруппа	Виды	
Эпигенные	Плагियो- тропные	Накипные	Однообразно- накипные	Лепрозные	—	
				Зернисто- бородавчатые	<i>Diploschistes scruposus</i> , <i>Endocarpon pusillum</i> , <i>Lecanora bicincta</i> , <i>Lecanora dispersa</i> , <i>Lecanora hagenii</i> , <i>Lecanora varia</i> , <i>Caloplaca citrina</i> , <i>Caloplaca ferruginea</i> , <i>Caloplaca holocarpa</i>	
				Плотнокорковые	—	
				Ареолированные	<i>Candelariella aurella</i> , <i>Rhizocarpon geographicum</i> , <i>Rinodina archaea</i> , <i>Rinodina bischoffii</i>	
				Розеточные	<i>Caloplaca decipiens</i>	
				Лопастные	<i>Lecanora muralis</i>	
			Чешуйчатые	Однообразно- чешуйчатые	—	
			Листоватые	Рассеченнолопастные ризоидальные		<i>Neofuscelia pulla</i> , <i>Neofuscelia ryssolea</i> , <i>Melanelixia glabra</i> , <i>Melanelixia subargentifera</i> , <i>Melanohalea exasperata</i> , <i>Melanohalea exasperatula</i> , <i>Melanohalea septentrionalis</i> , <i>Parmelia sulcata</i> , <i>Physcia adscendens</i> , <i>Physcia stellaris</i> , <i>Parmeliopsis ambigua</i> , <i>Phaeophyscia nigricans</i> , <i>Phaeophyscia orbicularis</i> , <i>Physconia distorta</i> , <i>Physconia enteroxantha</i> , <i>Pleurosticta acetabulum</i> , <i>Tuckermannopsis chlorophylla</i> , <i>Vulpicida pinastri</i> , <i>Xanthoparmelia camtschadalis</i> , <i>Xanthoparmelia loxodes</i> , <i>Xanthoparmelia somloensis</i> , <i>Xanthoparmelia subdiffluens</i> , <i>Xanthoria parietina</i> <i>Xanthoria candelaria</i> , <i>Xanthoria polycarpa</i>

Отдел	Тип	Класс	Группа	Подгруппа	Виды	
			Вздутлопастные неризоидальные		<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Hypogymnia tubulosa</i>	
			Широколопастные ризоидальные		<i>Peltigera didactyla</i> , <i>Peltigera rufescens</i>	
		Умбили- катные	Умбиликатно- листоватые		—	
	Плагии- ортотропные	Чешуйчато- кустистые	Шило- или сци- фовидные		<i>Cladonia cariosa</i> , <i>Cladonia chlorophaea</i> , <i>Cladonia fimbriata</i> , <i>Cladonia foliacea</i> , <i>Cladonia pyxidata</i> , <i>Cladonia rangiferina</i> , <i>Cladonia rei</i>	
	Ортотропные	Кустистые		Кустистые пови- сающие	Плоско- лопастные	<i>Evernia prunastri</i>
					Радиально- угловатолопастные	<i>Evernia mesomorpha</i> , <i>Ramalina capitata</i> , <i>Ramalina farinacea</i> , <i>Ramalina pollinaria</i> ,
					Радиально- лопастные	<i>Bryoria subcana</i> , <i>Usnea hirta</i>
Кустистые прямо- стоячие				Плоско- лопастные	<i>Cetraria steppae</i>	

Было выявлено 59 видов лишайников из 28 родов и 11 семейств: *Bryoria subcana*, *Caloplaca citrina*, *Caloplaca decipiens*, *Caloplaca ferruginea*, *Caloplaca holocarpa*, *Candelariella aurella*, *Cetraria steppae*, *Cladonia cariosa*, *Cladonia chlorophaea*, *Cladonia fimbriata*, *Cladonia foliacea*, *Cladonia pyxidata*, *Cladonia rangiferina*, *Cladonia rei*, *Diploschistes scruposus*, *Endocarpon pusillum*, *Evernia mesomorpha*, *Evernia prunastri*, *Hypogymnia physodes*, *Hypogymnia tubulosa*, *Lecanora bicincta*, *Lecanora dispersa*, *Lecanora hagenii*, *Lecanora muralis*, *Lecanora varia*, *Melanelixia glabra*, *Melanelixia subargentifera*, *Melanohalea exasperata*, *Melanohalea exasperatula*, *Melanohalea septentrionalis*, *Neofuscelia pulla*, *Neofuscelia ryssolea*, *Parmelia sulcata*, *Parmeliopsis ambigua*, *Peltigera didactyla*, *Peltigera rufescens*, *Phaeophyscia nigricans*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia adscendens*, *Physcia stellaris*, *Physconia distorta*, *Physconia enteroxantha*, *Pleurosticta acetabulum*, *Ramalina capitata*, *Ramalina farinacea*, *Ramalina pollinaria*, *Rhizocarpon geographicum*, *Rinodina archaea*, *Rinodina bischoffii*, *Tuckermannopsis chlorophylla*, *Usnea hirta*, *Vulpicida pinastri*, *Xanthoparmelia camtschadalis*, *Xanthoparmelia loxodes*, *Xanthoparmelia somloensis*, *Xanthopar-*

*melia subdiffluens*, *Xanthoria candelaria*, *Xanthoria parietina*, *Xanthoria polycarpa* (Определитель лишайников..., 1998).

Часть видов, которые указывались ранее для природного парка «Щербаковский», в этом году не были обнаружены: *Acarospora fuscata*, *Anaptychia ciliaris*, *Aspicilia cinerea*, *Arthonia dispersa*, *Arthonia patellulata*, *Arthonia radiata*, *Aspicilia cinerea*, *Aspicilia contorta*, *Buellia alboatra*, *Buellia stigmata*, *Circinaria hispida*, *Collema minor*, *Diploschistes muscorum*, *Lobothallia alphoplaca*, *Physcia dubia* (Веденеев, Заварухина, 2011; Веденеев и др., 2015). Тем не менее, мы не можем утверждать, что эти виды исчезли из лишайнофлоры парка. Скорее всего, они не были обнаружены из-за недостаточного времени для обследования территории.

Наибольшее количество видов имеют следующие семейства: *Parmeliaceae* (23 вида), *Physciaceae* (7 видов), *Cladoniaceae* (7 видов), *Teloschistaceae* (7 видов), *Lecanoraceae* (5 видов). Наибольшим числом видов представлены следующие роды лишайников: *Cladonia* (7 видов), *Lecanora* (5 видов), *Caloplaca* и *Xanthoparmelia* (по 4 вида), *Melanohalea*, *Neofuscelia*, *Ramalina*, *Xanthoria* (по 3 вида).

Широкий количественный диапазон видового разнообразия лишайнофлоры на территории природного парка «Щербаковский» может объясняться обширным разнообразием субстратов, некой неоднородностью природно-климатических условий, сохранностью степных участков, в т. ч. байрачных лесов, искусственных сосновых посадок и березовых колок.

В ходе анализа распределения видов лишайников по экологическим группам относительно субстрата были выделены следующие виды: эпифитные, эпигейные, эпилитные и эврисубстратные. Наибольшее количество насчитывают эпифитные (34 вида) и эпигейные лишайники (15 видов). В меньшей степени распространены эпилитные и эврисубстратные виды (по 5 видов).

Наибольшее количество лишайников приурочено к строго определенному типу субстрата. Лишь 5 видов проявляет более широкую экологическую валентность и заселяет различные субстраты. Это такие виды как *Physcia adscendens*, *Candalariella aurella*, *Cladonia fimbriata*, *Lecanora muralis* и *Xanthoria parietina*.

Исходя из анализа состава жизненных форм лишайнофлоры, можно выделить 3 основных морфологических типа: накипные, листоватые и кустистые. Наибольшая численность представлена листоватыми лишайниками – 31 вид, накипных насчитывается 15 видов, а кустистых – 13 видов. Такая картина является исключением для нашего региона, где преобладают накипные формы. Можно предположить, что это связано с наличием достаточно взрослых хорошо развитых пойменных и байрачных лесов, березовых колок, к которым и приурочена основная масса листоватых видов.

В природном парке преобладают эпигейные плагитропные жизненные формы (47 видов или 78.3%). Среди плагитропных форм преобладает класс листоватых (31 вид или 66%), затем накипных (16 видов или 34%) биоморф. Плагииортотропные (7 видов или 11.7%), ортотропные (6 видов или 10%) жизненные формы отличаются бедностью видового состава. Преобладание эпигейных видов связа-

но с большим количеством степных (аридных) участков, также преобладание листоватых видов объясняется с наличием байрачных и пойменных лесов.

Данные переданы в дирекцию природного парка «Щербаковский» для проведения мониторинговых работ на его территории, что будет способствовать сохранению биоразнообразия, а также помогут в решении вопроса о происхождении и этапах развития региональной лишенофлоры.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Веденеев А. М., Заварухина Д. В.* Лишайниковый компонент биоты природного парка «Щербаковский» // Изучение и сохранение естественных ландшафтов: сборник статей международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию юбилею Волгоградского государственного социально-педагогического университета и естественно-географического факультета ВГСПУ (12-15 сентября 2011 г.). М.: Планета, 2011. С. 99–102.

*Веденеев А. М., Коваленко Д. В., Бондарчук А. А.* К вопросу о лишенобиоте природного парка "Щербаковский" // Изучение, сохранение и восстановление естественных ландшафтов: сборник статей V международной научно-практической конференции, г. Волгоград, 12 - 16 октября 2015 г. М.: Планета, 2015. С. 42–45.

*Определитель лишайников России.* Выпуск 7. Лецидеевые, Микареевые, Порпидиевые. СПб.: Наука, 1998. 155 с.

### **ЦЕНОПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА ЭПИЛИТНОГО ЛИШАЙНИКА *RHIZOCARPON GEOGRAPHICUM* В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

**Р. С. Петров\*, А. В. Сони́на\*, М. М. Шахнович\*\***

\*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

E-mail: [dertrios@gmail.com](mailto:dertrios@gmail.com), [angella\\_sonina@mail.ru](mailto:angella_sonina@mail.ru)

\*\*Центр гуманитарных проблем Баренц региона Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты

E-mail: [m.shahnovich@ksc.ru](mailto:m.shahnovich@ksc.ru)

Лишайник – симбиотрофный организм, объединяющий гетеротрофные (микобионт) и фототрофные (фотобионт) от одного до нескольких бионтов. В процессе длительной коэволюции, симбиотирующие организмы утратили способность к самостоятельному существованию. Несмотря на то, что между ними не обнаружен обмен генетической информацией, таллом лишайника эволюционно, экологически и физиологически представляет собой интегрированную систему и рассматривается как особь, эквивалентная особи других организмов. Тем не менее, в современной лишенологии вопрос относительно внутриволюционной единицы остается акту-

альным и однозначно не решенным. Если для листоватых и кустистых лишайников такой единицей считается отдельный таллом, хорошо обособленный на субстрате, то для накипных лишайников это может быть совокупность талломов одного вида (Михайлова, Воробейчик, 1999; Тарасова и др., 2012).

Цель настоящей работы – изучение структуры ценопопуляций облигатного эпилитного накипного лишайника *Rhizocarpon geographicum* (L.) DC. в условиях зоны северной тайги и выявление функциональной единицы популяции для данного вида.

Исследование выполнено на оригинальном археологическом памятнике – комплексе валунных сложений в скальном сосновом сообществе беломошного типа (Терский район Мурманской области), открытым экспедицией Национального музея Республики Карелия в 2019 г. (рис. 1 А). В полевых условиях на учетных площадках (10×20 см) оценивали синузии с участием *Rh. geographicum*. Отдельные талломы и пятна талломов этого вида (моновидовые пятна) фотографировали относительно мерного эталона, для их размерной оценки. Определение видов выполнено стандартными лихенологическими методами на кафедре ботаники и физиологии растений ПетрГУ (Сонина и др., 2006), измерена площадь талломов с использованием программы ImageJ.



**Рис. 1.** Валунные сложения в скальном сосняке (А) и объект исследования – *Rhizocarpon geographicum* (Б).

На исследованных каменных субстратах лишайник *Rh. geographicum* входит в состав сложных синузий одной и разных жизненных форм. Синузии одной жизненной формы включают 3–5 видов накипных лишайников с доминированием (по встречаемости и значениям покрытия) *Rh. geographicum*, а также видов родов *Porpidia*, *Aspicilia*, *Lecanora*. Сложные синузии разных жизненных форм включают от 2 до 6 видов лишайников с доминированием *Rh. geographicum*, *Arctoparmelia centrifuga* (L.) Hale и участием *Umbilicaria hyperborea* (Ach.) Hoffm., *Melanelia stygia* (L.) Essl., видов родов *Porpidia*, *Lecanora*, *Lecidea* (рис. 1 Б).

Талломы *Rh. geographicum* в синузиях представлены как отдельными талломами (границы таллома четко различимы), так и моновидовыми пятнами при слиянии мелких талломов или при разрастании фрагментов талломов (внутри пятна невозможно однозначно выделить границы отдельных талломов). В связи с этим мы анализировали две группы: отдельные талломы, как дискретные образования, и моновидовые пятна. Рассчитаны площади талломов и пятен и построены два вариационных ряда.

Вариационный ряд одиночных талломов включает 46 особей (рис. 2). График описывает логарифмическая функция с коэффициентом аппроксимации 0.78. Отклонения от линии тренда на графике указывают на наличие условий/факторов, влияющих на рост талломов на определенной стадии их развития в сообществе. Распределение особей на гистограмме позволяет выделить 3 группы. В первую группу вошли 42 особи с размерами от 2.4 до 174 мм<sup>2</sup> (это самая большая группа). В синузиях они представлены как особями полового поколения, так и бесполого (в результате, например, фрагментации крупных талломов). Особи, размером примерно 50 мм<sup>2</sup> и более располагаются ниже линии тренда. Вероятно, эти небольшие по размеру и молодые талломы ограничены в росте за счет конкуренции внутри синузий. Во вторую группу вошли 3 таллома площадью ~200–450 мм<sup>2</sup>. Их размеры превосходят теоретически рассчитанные площади. Скорее всего, эти талломы сформировались на субстрате на ранних этапах становления сообщества, когда у талломов была возможность расти без ограничения со стороны синузии.

В третью группу вошел один самый крупный таллом площадью 1344 мм<sup>2</sup>. Его размеры значительно превосходят максимально рассчитанные функцией. Выдвинуто предположение, что этот таллом мог появиться на субстрате раньше всех остальных. Однако несмотря на то, что нет признаков объединения нескольких талломов, у нас все же нет оснований однозначно утверждать, что этот таллом – одиночная особь.

Второй вариационный ряд включает 239 моновидовых пятна (рис. 3). График описывает логарифмическая функция с коэффициентом аппроксимации 0.93.

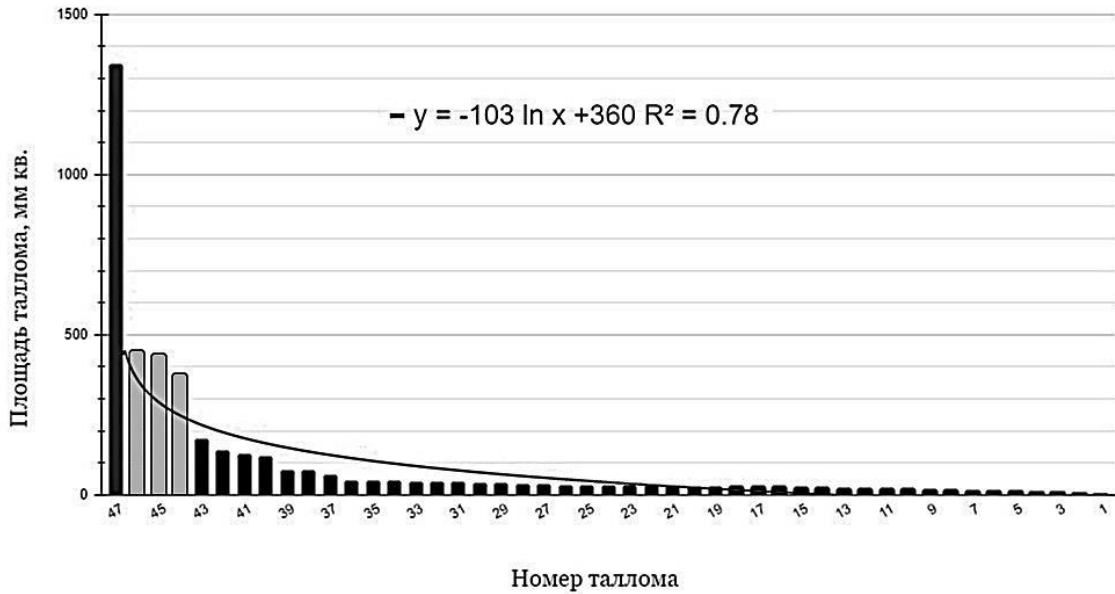


Рис. 2. Вариационный ряд одиночных талломов.

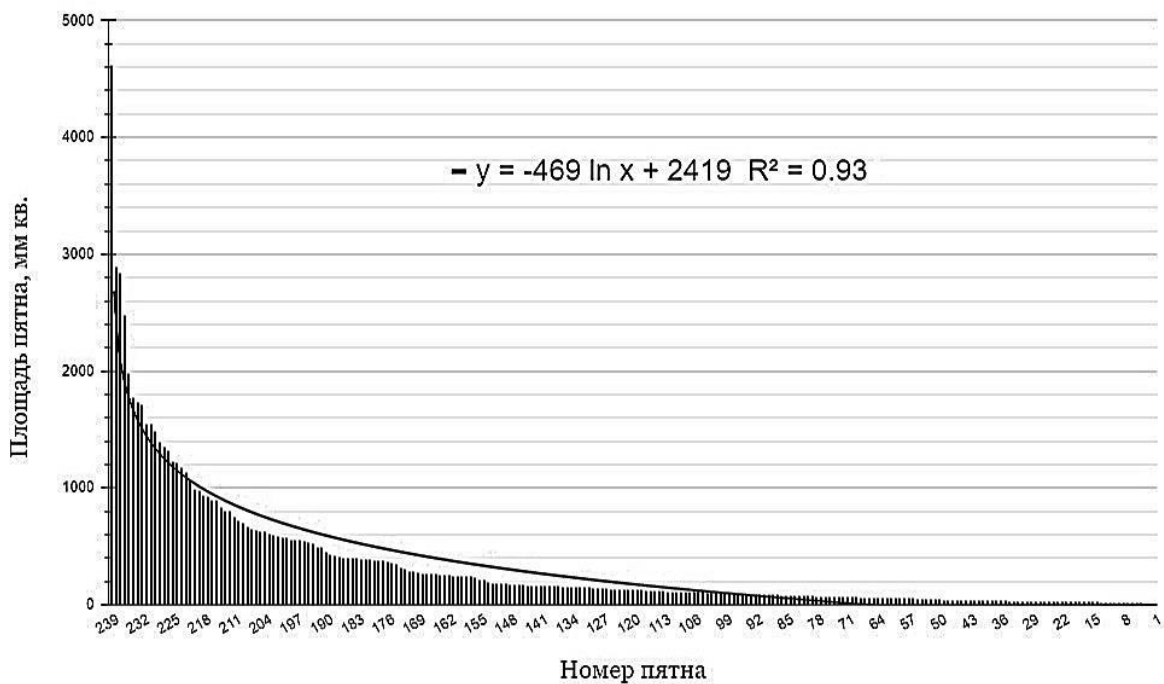


Рис. 3. Вариационный ряд моновидовых пятен.

При распределении пятен также выделяются три группы. В первую группу вошло наибольшее число пятен (от 6 мм<sup>2</sup>, до крупных, ~1000 мм<sup>2</sup>). Их размеры не достигают линии тренда. Прослеживается та же тенденция, что и у отдельных талломов. Они сформировались внутри уже существовавших синузий, что могло ограничивать их краевой рост. Вероятно, небольшие пятна формируются за счет объединения маленьких талломов в начале их развития, и эти пятна ведут себя как отдельные особи. Во вторую группу вошли 17 пятен (от 1000 до 3000 мм<sup>2</sup>). Их размеры превышают модельные. Они сформировались на ранних этапах развития отдельных тал-



ломов и синузии, когда субстрат не был плотно заселен. Такие пятна включают в себя от 2 и более особей, и ведут себя как отдельные индивидуумы. Третья группа представлена лишь одним пятном (4600 мм<sup>2</sup>). Размеры пятна и его положение относительно линии тренда скорее всего связано с тем, что за долгое время его существования на субстрате, к нему могли присоединяться близко растущие талломы, или даже другие пятна в разные периоды его развития. То есть, пятна меняются структурно во времени. И, к примеру, самое крупное пятно не обязательно является самым старым на субстрате.

Таким образом, выявлено, что моновидовые пятна *Rh. geographicum* сформированные на ранних этапах, реализуя ростовую функцию, ведут себя как индивидуумы, что позволяет рассматривать их как функциональную единицу ценопопуляции наряду с дискретными талломами. Самое крупное пятно в ценопопуляции могло сформироваться из разных талломов в разные периоды своего развития, следовательно, может не являться самым старым в ценопопуляции.

#### ЛИТЕРАТУРА

Михайлова И. Н., Воробейчик Е. Л. Размерная и возрастная структура популяций эпифитного лишайника *Hurogymnia physodes* (L.) Nyl. в условиях атмосферного загрязнения // Экология, 1999. № 2. С. 130–137.

Сонина А. В., Степанова В. И., Тарасова В. Н. Лишайники. Ч. 1: Морфология, анатомия, систематика. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2006. 216 с.

Тарасова В. Н., Андросова В. И., Сонина А. В. Лишайники. Ч. 2: Физиология, экология, лихеноиндикация. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2012. 268 с.

### СИНАНТРОПНАЯ ФЛОРА СЕЛА АСКИЗ (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

**Е. А. Топоева**

Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан

E-mail: [lena-topoeva@mail.ru](mailto:lena-topoeva@mail.ru)

В настоящее время флора сельских поселений испытывает значительное антропогенное воздействие, что приводит к изменению растительного покрова. Нарушенные территории в составе антропогенного ландшафта способствуют интенсивному расселению синантропных видов. Это приводит к замещению природной растительности антропогенной. Исследование флоры села Аскиз играет важную роль для выяснения степени распространения синантропной фракции и ее влияние на естественные сообщества.

Село Аскиз является административным центром Аскизского района республики Хакасия. Район исследования расположен вдоль одного из главных притоков ре-

ки Абакан – реки Аскиз, в прибрежной зоне которой располагаются деградированные луга. Аскизский район находится в юго-восточной части Южно-Минусинской котловины, для этой части территории характерна степная зона (Чернов, 1988).

Синантропная флора села Аскиз представлена 140 видами, что составляет 54.9% от общего числа видов исследуемой флоры.

Семейственный спектр синантропной флоры села Аскиз показал, что ведущее положение занимает семейство Asteraceae (18.6% от числа видов флоры). В данном семействе присутствуют такие виды, как *Achillea asiatica* Serg., *Artemisia annua* L., *Aster alpinus* L., *Cichorium intybus* L., *Matricaria recutita* DC.

Второе место занимает семейство Poaceae (10.7%). Данное семейство складывается из таких видов, как *Agropyron cristatum* (L.) Beauv., *Poa pratensis* L., *Hordeum jubatum* L., *Elytrigia repens* L., *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.

Семейство Fabaceae включает 9.3% видов синантропной флоры. Широкое распространение среди данного семейства имеют виды *Melilotus albus* Medik., *Trifolium pretense* L., *Vicia cracca* L. Виды данного семейства имеют широкое распространение в рекреационной зоне в долине реки Аскиз, вдоль дорог, на деградированных лугах. Следовательно, виды семейства Fabaceae хорошо адаптируются в условиях антропогенного воздействия.

Представители семейства Rosaceae (8.6%) *Alchemilla orbicans* Juz., *Potentilla anserina* L., *P. multifida* L. и другие активно расселяются на пойменных лугах в рекреационной зоне. Виды *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt, *Rosa acicularis* Lindl., *Padus avium* Mill. используются для озеленения села и высаживаются вдоль улиц, в парках и скверах.

Семейство Brassicaceae обладает ярко выраженным синантропным характером, оно охватывает 7.9 % видов синантропной флоры села Аскиз. Типичные виды данного семейства: *Lepidium ruderale* L., *Sisymbrium loeselii* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medikus, *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl и другие.

Менее представлены семейства Lamiaceae, Ranunculaceae и Scrophulariaceae.

Синантропная флора сформирована 120 апофитами и 20 адвентивными видами.

Апофиты характеризуются устойчивостью к условиям антропогенного влияния и расселяются в местах с антропогенной нагрузкой. Адвентивные виды получили распространение благодаря деятельности человека.

Анализ апофитов был проведен в соответствии с классификацией В. В. Протопоповой (1991). Наибольшее число видов насчитывается среди гемиапофитов (69.2%). Типичными представителями этой группы являются виды: *Agropyron cristatum*, *Dactylis glomerata* L., *Populus lauriflora* Ledeb., *Polygonum aviculare* L., *Stellaria media* (L.) Vill. и другие. Данные растения распространены как в естественных сообществах, так и в местах с антропогенной нагрузкой. Среди эвапофитов обнаружено 35 видов (29.2%). В данную группу входят виды: *Hordeum jubatum*, *Cannabis ruderalis* Janisch., *Urtica cannabina* L., *Fagopyrum tataricum* L., *Chenopodium album* L. и другие, произрастающие исключительно в антропогенно нарушенных

местообитаниях. Неустойчивые апофиты насчитывают всего 2 вида (1.6%), это *Juncus compressus* Jacq. и *J. gerardii* Loisel., и характеризуются низкой распространенностью. На деградированных пойменных лугах были встречены единожды.

Для анализа адвентивных видов за основу была взята классификация, предложенная А. И. Пяком (1994), согласно которой выделены группы растений по способу заноса и по степени натурализации. Анализ показал, что эргазиофиты значительно преобладают по своему числу, всего их насчитывается 18 видов (90.0%). Для эргазиофитов характерны такие виды, как *Picea obovata* Ledeb., *Populus alba* L., *Ulmus pumila* L., *Ribes nigrum* L., *Cerasus fruticosa* Pall. и другие. Из ксенофитов выявлено 2 вида (10.0 %) это *Cichorium intybus* и *Epilobium adenocaulon* Hausskn. Самой многочисленной группой адвентивных растений по степени натурализации являются колонофиты, всего их 11 видов (55.0 %). Характерными видами данной группы являются *Caragana spinosa* (L.) Vahlex Hornem., *Rosa acicularis*, *Padus avium*, *Sorbus sibirica* Hedl., *Populus alba* и другие. Данные растения не распространяются за пределы места заноса и многие из них были посажены в декоративных целях. Меньшим числом видов характеризуются эпекофиты, насчитывающие 6 видов (30.0%). Типичные представители данной группы: *Cichorium intybus*, *Acer negundo* L., *Ribes nigrum*, *Ulmus pumila*, *Spiraea chamaedryfolia* L., *Cosmos bipinnatus* Cav. Данные виды не выходят за пределы вторичных местообитаний в естественную среду. Также в синантропной флоре территории исследования выявлено 3 агриофита (15.0%) – это *Cerasus fruticosa*, *Hippophae rhamnoides* L. которые произрастают на территории бывшего сада, из которого, по всей вероятности, получили свое дальнейшее распространение на других участках, в том числе и на территориях с естественным типом растительности. *Epilobium adenocaulon* непреднамеренно занесен на территорию исследования, активно расселяется как в антропогенно нарушенных, так и в естественных ценозах.

Таким образом, среди адвентивных растений по способу заноса преобладают эргазиофиты, а по степени натурализации – колонофиты. Большинство адвентивных растений занесены человеком преднамеренно и успешно закрепились на новой для них территории, однако и не распространяются за пределы места заноса.

Во флоре села Аскиз были обнаружены следующие инвазионные виды: *Hordeum jubatum*, *Ulmus pumila*, *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Nylander, *Galium aparine* L., *Echium vulgare* L., *Malus baccata* (L.) Borkh., *Malva verticillata* var. *Neurolooma* Schldl, *Echinochloa crusgalli*, *Acer negundo*, *Lactuca serriola* Torner, *Epilobium adenocaulon*.

#### ЛИТЕРАТУРА

Протопопова В. В. Синантропная флора Украины и пути ее развития. Киев: Наукова думка, 1991. 204 с.

Пяк А. И. Адвентивные растения Томской области // Ботанический журнал, 1994. Т. 79. № 11. С. 4454.

Чернов Г. А., Вдовин В. В., Окишев П. А., Петкевич М. В., Мистрюков А. А., Зятькова Л. К., Миляева Л. С. Рельеф Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1988. 206 с.

**СВЕДЕНИЯ О МИКОБИОТЕ ДИСКОМИЦЕТОВ  
ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО СИБИРСКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

**Д. А. Филимонова\*, И. Г. Воробьева\*\***

\*Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск

\*\*Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск

E-mail: [darya.filimonova@gmail.com](mailto:darya.filimonova@gmail.com)

Грибы являются одним из необходимых компонентов любых экологических сообществ. Дискомицеты, как группа порядков отдела Аскомицеты, на территории России исследованы неравномерно (Богачева, 2018). Так, систематические исследования биоразнообразия этих грибов проводились в Северо-Западной части страны, на Дальнем Востоке, Алтайском крае, Ханты-Мансийском автономном округе (Богачева, 2018; Прохоров, 1996). Сведения о данной группе грибов в других регионах зачастую основаны на разовых сборах и не имеют системности. К неизученным в данном плане регионам относится Западная Сибирь, в частности, Новосибирская область. В 2020 году начато изучение биоразнообразия дискомицетов на указанной территории.

Цель данной работы – изучение видового состава дискомицетов особо охраняемой природной территории Центрального сибирского ботанического сада Сибирского отделения Российской академии наук (ООПТ ЦСБС СО РАН).

Территория ООПТ ЦСБС СО РАН представляет собой комплекс природных зон и участков (Банаев и др., 2013; Томошевич и др., 2016), рельеф сложный, с покатыми склонами и залесенными логами, тяготеющими к реке Зырянке; почвы преимущественно дерново-подзолистые, по западинам и ложбинам, в местах с периодически застойным переувлажнением встречаются торфянисто-болотные и перегнойно-болотные почвы (Растительное многообразие..., 2016). На территории ЦСБС СО РАН естественные леса занимают площадь около 470 га (Банаев и др., 2013; Растительное многообразие..., 2016). Основным лесообразователем выступает береза повислая (*Betula pendula* Roth), гораздо меньшие территории заняты сосной (*Pinus sylvestris* L.) и осиной (*Populus tremula* L.). Кустарниковый ярус представлен в основном черемухой (*Padus avium* Mill.), рябиной (*Sorbus aucuparia* subsp. *sibirica*

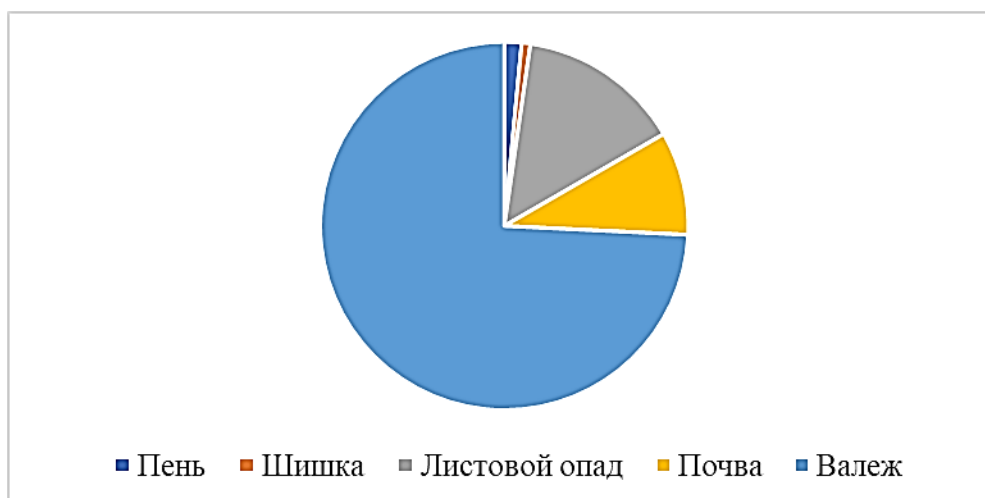
(Hedl.) Krylov), калиной (*Vibrium opulus* L.), ивой козьей (*Salix caprea* L.). Основу травостоя составляет сныть (*Aegopodium podagraria* L.) и папоротник (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn). К настоящему времени на территории ООПТ ЦСБС СО РАН собрано и проанализировано 205 образцов. Таксономическая структура дискомицетов представлена в таблице. Данные таблицы свидетельствуют, что разнообразие грибов представлено 16 родами, относящимся к 12 семействам: Pezizaceae, Pyronemataceae, Morchellaceae, Helvellaceae, Hyaloscyphaceae, Helotiaceae, Chlorociboriaceae, Mollisiaceae, Lachnaceae, Dermateaceae, Leotiaceae, Hypoxylaceae.

Таблица

Таксономическая структура дискомицетов на территории ООПТ ЦСБС СО РАН

Класс	Порядок	Семейство	Род
Pezizomycetes	Pezizales	Pezizaceae	<i>Peziza</i>
		Pyronemataceae	<i>Scutellinia, Humaria</i>
		Morchellaceae	<i>Disciotis, Verpa</i>
		Helvellaceae	<i>Helvella</i>
Leotiomycetes	Helotiales	Hyaloscyphaceae	<i>Trichopeziza, Hyaloscypha, Lachnum</i>
		Helotiaceae	<i>Hymenoscyphus</i>
		Chlorociboriaceae	<i>Chlorociboria</i>
		Mollisiaceae	<i>Mollisia</i>
		Lachnaceae	<i>Lachnellula</i>
	Dermateaceae	<i>Pyrenopeziza</i>	
	Leotiales	Leotiaceae	<i>Leotia</i>
Sordariomycetes	Xylariales	Hypoxylaceae	<i>Hypoxylon</i>

В рамках исследования были проанализированы потенциальные субстраты дискомицетов: листовой опад, крупные и мелкие древесные остатки (бревна, старые пни, трухлявые ветки, отмершая кора, сухостой), кора живых деревьев и крупных кустарников. Приуроченность грибов к субстрату представлена на рисунке.



Экологическая приуроченность дискомицетов к субстратам

По экологической приуроченности 74.2% обнаруженных дискомицетов произрастает на разлагающейся древесине, 14.4% были найдены на листовом отпаде, 9% – непосредственно на почве, 1.5% найдены на пнях и 0.9% – на шишках. Полученные данные показывают, что грибы предпочитают в качестве субстрата древесину в стадии разложения.

Таким образом, первые планомерные исследования дискомицетов на территории ООПТ ЦСБС СО РАН показали их разнообразие в таксономическом и экологическом аспектах. Для получения полной картины их представленности на территории Новосибирской области исследования данной группы организмов будут продолжены.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Банаев Е. В., Чиндяева Л. Н., Киселева Т. И.* Современное состояние и перспективы развития озеленения // Динамика экосистем Новосибирского Академгородка. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2013. С. 110–126.

*Богачева А. В.* Новые и интересные находки дискомицетов на территории Хабаровского края // Биота и среда заповедных территорий, 2018. № 2. С. 41–53.

*Прохоров В. П.* Дискомицеты Алтайского государственного заповедника II. Порядок Pezizales // Микология и фитопатология, 1996. Т. 33. Вып. 6. С. 376–379.

Растительное многообразие Центрального сибирского ботанического сада СО РАН / науч. ред.: И. Ю. Коропачинский, Е. В. Банаев; РАН, Сиб. отд-ние, Центральный сибирский ботанический сад. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2014. 492 с.

*Томошевич М. А., Воробьева И. Г.* Биоразнообразие патогенной микобиоты листьев древесных растений Центрального сибирского ботанического сада СО РАН – особо охраняемой природной территории // Известия Самарского научного центра РАН, 2016. Т. 18. №2. С. 235–238.

### СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФЛОРЫ СЕЛА ТАШТЫП (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

**А. В. Чочумакова**

Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, Абакан

E-mail: [chochumakova@gmail.com](mailto:chochumakova@gmail.com)

Увеличивающееся в последние десятилетия антропогенное воздействие приводит к существенному преобразованию растительного покрова. В настоящее время практически все экосистемы нашей планеты подвержены прямым или косвенным антропогенным воздействиям. Первостепенное значение в общей цепочке глобальных и региональных проблем флористики и экологии имеет изучение процессов ан-

тропогенной трансформации (синантропизации) флоры и сокращение биологического разнообразия планеты (Ильминских, 1982)

Хакасия занимает площадь 61.9 тыс. км<sup>2</sup>. Протяженность с севера на юг – 460 км, с запада на восток – 200 км. На севере, востоке и юго-востоке Хакасия граничит с Красноярским краем, на юге – с Республикой Тыва, на юго-западе – с Республикой Алтай, на западе – с Кемеровской областью (Лагунова и др., 2018).

Село Таштып является административным центром Таштыпского района Республики Хакасия. Село расположено на границе смены ландшафтных поясов (степь в окрестностях села плавно переходит в предгорья и таёжные предгорные зоны) (Швабенланд, Свечников, 2017). Со всех сторон село окружено горными хребтами с абсолютными отметками 500–850 м над ур. м. По территории района протекает горно-степная р. Таштып – левый приток р. Абакан (Куминова и др., 1976).

В результате проведения флористических исследований флоры села Таштып выявили 165 видов высших сосудистых растений, относящихся к 121 родам и 35 семействам. В семейственном спектре ведущее положение занимает семейство Asteraceae, в составе которого насчитывается 26 видов. Это семейство является лидирующим для бореальных флор, в том числе и для синантропизированных территорий. Виды данного семейства встречаются повсеместно: на улицах и в окрестностях исследуемого села, в естественных типах растительности, в степях и на лугах. Наиболее часто встречаемые представители семейства Asteraceae: *Achillea asiatica*, *Aster alpinus*, *Sonchus arvensis*, *Taraxacum officinale* и другие.

В составе семейства Poaceae, 21 вид, наиболее часто встречаются виды: *Bromopsis inermis*, *Elytrigia repens*, *Poa pratensis* и другие. Данное семейство расположилось на втором месте в семейственном спектре.

Третье место занимает семейство Brassicaceae, которое представлено 13 видами. Представители семейства Brassicaceae распространены повсеместно (*Barbarea arcuata*, *Lepidium ruderale*, *Capsella bursa-pastoris*) и произрастают, как правило, на антропогенно нарушенных местообитаниях.

Семейство Rosaceae расположилась на четвертом месте. Это семейство представлено с 12 видами. Представители семейства Rosaceae были отмечены на антропогенно нарушенных местообитаниях, некоторые виды были занесены преднамеренно в качестве озеленения, например, *Padus avium*. Данный вид прочно закрепился в новом местообитании, но не распространился в искусственных условиях. Вид *Rubus idaeus* занесен во флору исследуемого села непреднамеренно, данный вид способен расселяться по нарушенным местообитаниям.

Пятое место занимает семейство Fabaceae. Количество видов данного семейства составляет 11 видов. Виды семейства Fabaceae встречаются в естественной и нарушенной растительности, вошедшей в административную границу исследуемого

села, вдоль дорог, на газонах, около домов (*Medicago falcata*, *M. sativa*, *Trifolium lupinaster*, *T. pratense*, *T. repens*).

Семейство Lamiaceae содержит 8 видов (4.8%). Седьмое место принадлежит семейству Ranunculaceae. В данном семействе насчитывает 7 видов растений. Восьмое место делят три семейства Cyperaceae, Polygonaceae и Scrophulariaceae, в составе которых по 6 видов (3.6%). По 3 вида отмечено в 3 семействах: Chenopodiaceae, Urticaceae, Boraginaceae. На исследуемой территории отмечено по 2 вида в 7 семействах: Equisetaceae, Juncaceae, Salicaceae, Papaveraceae, Geraniaceae, Plantaginaceae, Rubiaceae. 12 семейств являются одновидовыми – это Alliaceae, Iridaceae, Betulaceae, Cannabaceae, Ulmaceae, Grossulariaceae, Aceraceae, Primulaceae, Oleaceae.

Высокое содержание во флоре одновидовых семейств связано с элементами экстремальности средообразующих параметров урбанизированной среды села, приводящих к уменьшению количества природных участков на территории села и увеличению синантропных комплексов, возникающих за счет адвентивной фракции (Антипина, Кулешова, 2016).

В родовом спектре первое место занимают 2 рода *Carex* и *Poa*. Они представлены 5 видами (3.0 %). Типичными представителями рода *Carex* являются: *C. acuta*, *C. pediformis*, *C. duriuscula*, *C. cespitosa*, *C. enervis*. Самые распространенные виды рода *Poa*: *P. pratensis*, *P. angustifolia*, *P. nemoralis*, *P. sibirica*, *P. supina*. Третье место занимает род *Potentilla* (4 вида, 2.4 %), который представлен следующими видами: *P. anserina*, *P. bifurca*, *P. longifolia*, *P. multifida*. Четвертое место делят 5 родов, которые содержат по 3 вида, это роды *Artemisia*, *Ranunculus*, *Trifolium*, *Urtica*, *Rumex*. По 2 вида отмечено в 24 родах: *Achillea*, *Agrostis*, *Atriplex*, *Artemisia*, *Cannabis*, *Caruus*, *Carex*, *Chamomilla*, *Equisetum*, *Galium*, *Geranium*, *Hordeum*, *Juncus*, *Lactuca*, *Linaria*, *Medicago*, *Melilotus*, *Phleum*, *Pinus*, *Plantago*, *Poa*, *Pulsatilla*, *Sisymbrium*, *Silene*, *Sonchus*, *Veronica*.

Таким образом систематический анализ выявил, что самыми распространенными семействами являются Asteraceae, Poaceae и Rosaceae. Среди родов преобладают *Carex*, *Poa*, *Potentilla*.

## ЛИТЕРАТУРА

Антипина Е. М., Кулешова Ю. В. Флора малых городов на примере г. Сосновоборска (Красноярский край, Юг средней Сибири) // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока: материалы шестой Всероссийской научной конференции с международным участием. Красноярск, 2016. 67 с.

Ильминских Н. Г. Анализ городской флоры (на примере флоры города Казани): автореф. дис. ... канд. биол. Наук. Л.: БИН АН СССР, 1982. 23 с.

Куминова А. В., Чижилова Н. М., Танзыбаев М. Г. Природные факторы, определяющие структуру современного растительного покрова Хакасии // Растительный покров Хакасии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. С. 10–39.



*Лагунова Е. Г., Ларина О. А., Казакова Н. П.* Природа Хакасии ее охрана: учебно-методический комплекс по дисциплине: Учебно-практическое пособие. Абакан: Изд-во Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, 2018. 144 с.

*Швабенланд И. С., Свечников А. Н.* Рекреационная нагрузка на лесной массив окрестностей с. Таштып // Сборник статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей. Пермь, 2017. С. 81–82.

## Секция 2

**ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ЖИВОТНОГО МИРА****ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ПИХТОВЫХ ЛЕСОВ  
БАЙКАЛЬСКОГО ЗАПОВЕДНИКА С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ  
УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА****А. В. Ананьина, М. В. Воробьева**

Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург

E-mail: [ananinaav@m.usfeu.ru](mailto:ananinaav@m.usfeu.ru), [vorobyevamv@m.usfeu.ru](mailto:vorobyevamv@m.usfeu.ru)

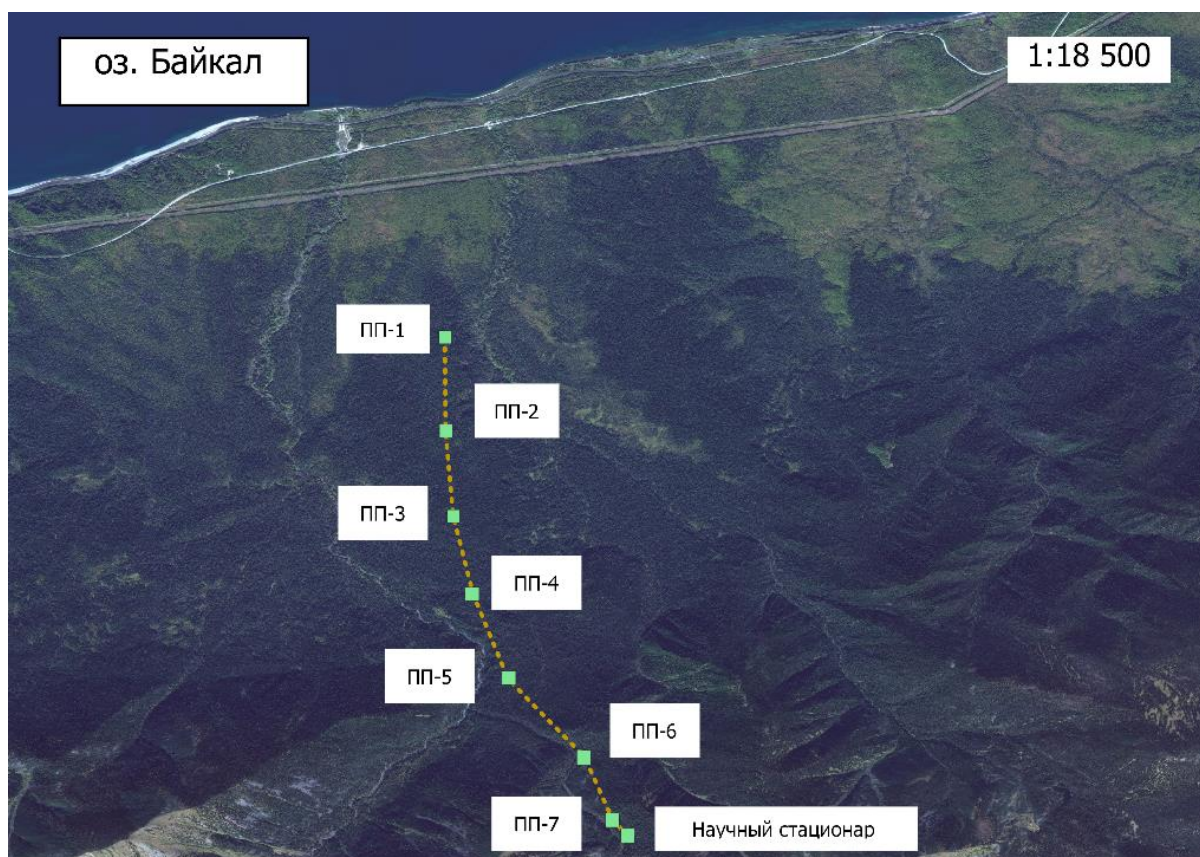
Стабильность существования многих природных комплексов Байкала находится под угрозой в связи с интенсивным развитием промышленности последние 60–70 лет в этом регионе. Первые сведения об усыхании пихтовых лесов зарегистрированы еще в 1975 г., а начиная с 1977 г. на значительной площади пихтовых массивов появились внешние признаки резкого ухудшения санитарного состояния древостоев (Белова, Морозова, 2018). Снижение устойчивости пихтовых насаждений наблюдается и в настоящее время. Предположительными причинами ослабления пихтовых лесов названы выбросы Байкальского ЦБК, а также существующий северо-западный перенос атмосферных фронтов, проходящий через Иркутско-Черемховую промышленную зону (Урбанавичене, Урбанавичюс, 1998).

В августе 2022 г. в составе комплексных исследований на территории Байкальского государственного биосферного заповедника были обследованы пихтовые насаждения вдоль реки Осиновая до научного стационара «Чум» с целью исследований выявления очагов стволового вредителя пихты – уссурийского полиграфа.

Уссурийский полиграф (*Polygraphus proximus* В.) – эндемичный вид дальневосточной энтомофауны, обычно заселяющий сильно ослабленные, усыхающие, свежие буреломные и ветровальные деревья местных видов пихт, преимущественно пихты сибирской, а также свежезаготовленную пихтовую древесину. Признаки заселения: обильные смоляные подтеки на стволах, покраснение хвои, начинающееся с нижней части кроны. При массовом размножении в Сибири жуки атакуют не только деревья, утратившие устойчивость против стволовых дендрофагов, но и здоровые и незначительно ослабленные деревья пихты. В Сибири уссурийский полиграф впер-

вые идентифицирован в 2008 г., его местообитания — чистые пихтарники, равнинные и горные темнохвойные леса с участием пихты (Уссурийский полиграф..., 2015).

Работы на пробных площадях проводились согласно общепринятой методике (Мозолевская и др., 1984). Вдоль реки Осиновая было заложено 7 пробных площадей (ПП) (рис.), на которых произведен пересчет деревьев пихты с указанием диаметра и категории состояния (Постановление ..., 2020). Результаты представлены в таблице 1.



Расположение пробных площадей в районе исследования.

Таблица 1

Распределение деревьев (шт.) на пробных площадях по ступеням толщины (см)

Категория состояния	ПП-1	ПП-2	ПП-3	ПП-4	ПП-5	ПП-6	ПП-7	Всего
1	0	0	1	0	0	0	0	1
2	55	56	63	61	52	57	50	394
3	40	37	32	35	41	37	43	265
4	2	4	2	0	4	3	3	18
5 (а, б, в)	1	1	0	0	0	0	3	5
5 (в, г, д)	2	2	2	4	3	3	1	17
Итого	100	100	100	100	100	100	100	700

При обследовании были обнаружены усачи рода *Monochamus*, *Acanthocinus*, златки рода *Chrysobothris*, полиграф пушистый (*Polygraphus polygraphus* L.), короед вершинный (*Ips acuminatus* Gyll), ржавчинный рак пихты, увядание молодых побегов, механические повреждения у пихт вдоль тропы, морозобоины, смолоподтеки, трещины коры, изреженность кроны, суховершинность. Основные характеристики древостоев приведены в таблице 2.

Таблица 2

#### Основные характеристики древостоев на пробных площадях (ПП)

Показатели	ПП-1	ПП-2	ПП-3	ПП-4	ПП-5	ПП-6	ПП-7
Состав древостоя	10П	10П	10П+Е	5К4П1Е	6К3П1Е	8П2К	10П+К
Класс бонитета	3	3	2	3	3	4	4
Полнота	0.7	0,7	0.7	0.6	0.4	0.6	0.4
Высота, м	17	18	18	23	18	18	17
Средневзвешенная категория состояния	2.53	2.54	2.41	2.47	2.58	2.52	2.61

На ПП-1 стволовыми вредителями заселено 9% 3 категории состояния и 1% 4 категории состояния. На ПП-2 заселено 2% 3 и 4 категории состояния. На ПП-3 – заселен 1% 4 категории состояния. ПП-4 заселено 9% насаждений 3 категории состояния, 4 категория отсутствует, предположительно состояние пихт ухудшилось в недавнее время. На ПП-5 заселено 2% третьей категории состояния и 1% 4 категории. Среди насаждений ПП-6; заселено 2% 3 и 4 категории состояния. На ПП-7 стволовыми вредителями заселен 1% третьей категории состояния. В том числе, на ПП-7 были зафиксированы единичные деревья с ходами уссурийского полиграфа, но признаки нахождения самого вредителя на территории отсутствуют.

В районе проводимых исследований средневзвешенная категория состояния варьирует от 2.41 до 2.61. Состояние пихтовых насаждений - от ослабленного до сильно ослабленного. У деревьев снижается устойчивость к инвазивному виду, что создает благоприятные условия для размножения уссурийского полиграфа в пихтовых лесах заповедника. Проникновение чужеродного вида-дендрофага на лесные особо охраняемые природные территории с крупными массивами пихтарников негативно сказывается на средообразующей функции пихтовых лесов, создает угрозу исчезновения пихты сибирской и разрушения ландшафта в целом (Уссурийский полиграф..., 2015).

С целью замедления или предотвращения деградации пихтовых лесов и сохранения их ресурсных и экологических свойств в районах ослабления и усыхания необходимо постоянный лесопатологический мониторинг. Необходимо проведение обследований с охватом больших площадей, составление графика периодизации лесопатологического мониторинга, направленного на выявление инвазивного вида в пихтовых насаждениях.

ЛИТЕРАТУРА

Белова Н. А., Морозова Т. И. Динамика лесопатологического состояния пихтовых древостоев Байкальского заповедника (1983–2015) // Вестник МГУЛ Лесной вестник, 2018. № 2. 5–15. с.

Мозолевская Е. Г., Катаев О. А., Соколова Э. С. Методы лесопатологического обследования очагов стволовых вредителей и болезней леса. М.: Лесная промышленность, 1984. 152 с.

Постановление Правительства РФ от 09.12.2020 N 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах».

Урбанавичене И. Н., Урбанавичюс Г. П., Ходжер Т. В. Мониторинг загрязнения атмосферных осадков в Байкальском биосферном заповеднике // Проблемы экологического мониторинга. Глобальные и региональные последствия изменений окружающей среды и климата: Материалы X Байкальской школы-семинара. Байкальск: ИЭТ, 1998. С. 181–187.

Уссурийский полиграф в лесах Сибири (распространение, биология, экология, выявление и обследование поврежденных насаждений): методическое пособие. Томск – Красноярск, 2015. 48 с.

**НОВЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ВРЕДИТЕЛЯ ЗАПАСОВ  
КОЗЯВКИ МАВРИТАНСКОЙ *TENEBRIOIDES MAURITANICUS* L. (COLEOPTERA,  
TROGOSSITIDAE)**

**В. Э. Глебов, Н. М. Стрюкова**

Южный филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский центр карантина растений», Симферополь

E-mail: [valeriy.glebov.93@mail.ru](mailto:valeriy.glebov.93@mail.ru)

На мельницах и складах в период нахождения там зерновой продукции зачастую наблюдаются повреждения различными насекомыми и клещами. На протяжении последних 10 лет в ходе постоянных обследований зернохранилищ на территории Российской Федерации установлено, более 60 видов насекомых, наносящих существенный экономический вред продуктам запаса (Пименов, 2009). На сегодняшний день одним из наиболее часто встречающихся и опасных видов насекомых – вредителей запасов является козявка мавританская *Tenebrioides mauritanicus* L. Данный вид относится к семейству, которое ранее носило название щитовидки (Ostomatidae) (Мордкович, Соколов, 1999; Определитель насекомых..., 1965), а в настоящее время называется темнотелки (Trogossitidae) (Справочник..., 2019; Vousquet, 1990) и является единственным представителем данного семейства, наносящим вред зерновой продукции.

На складах козявка мавританская питается самыми разнообразными растительными и животными продуктами, в том числе зерном, выедая сначала зародыш, а за-

тем эндосперм. Личинки и жуки способны прогрызать сита, мешки, картонные упаковки, бумагу. Они вгрызаются в деревянные конструкции, тем самым ослабляя их. В хранилищах повреждают зерно хлебных злаков, муку, крупы, комбикорма, сухофрукты, кондитерские изделия и другие продукты.


Учитывая выраженную вредоносность, а также фитосанитарные требования стран – импортеров российской зерновой продукции, выявление в ней козявки мавританской может привести к принятию соответствующих карантинных фитосанитарных мер странами-импортерами, которые способны повлечь за собой ограничения на ввоз зерновой продукции из России и, как следствие, привести к снижению экспортного потенциала страны. В связи с этим особый интерес представляет разработка методик для специалистов лабораторий по выявлению и идентификации вредителей запаса в зерновой продукции, в частности козявки мавританской *Tenebrioides mauritanicus* L., распространенной на территории Российской Федерации.

В рамках исследования были изучены имаго козявки мавританской - *Tenebrioides mauritanicus* (L., 1758) из коллекционного фонда ФГБУ «ВНИИКР». Для анализа актуальной информации по регулированию данного вида использовались ресурсы из официальных источников в области карантина и защиты растений, а также фитосанитарные требования стран-импортеров в отношении российской подкарантинной продукции, согласно официальным источникам НОКЗР Российской Федерации.

В ходе выполнения работы нами были выявлены новые, ранее не описанные диагностические признаки козявки мавританской - *Tenebrioides mauritanicus* L. (табл.).

Таблица

Диагностические признаки *Tenebrioides mauritanicus* L.

Признак	Описание
1. Голова	
	<p>Голова большая, немного уже переднеспинки. Лобно-скуловой шов отсутствует. Лобная продольная борозда или углубление отсутствуют. Гуларные швы широкие, сходящиеся на вершине. Усиковая бороздка присутствует. Форма глаз – уплощенная. Заострения, расположенные на переднем крае головы, умеренные.</p>

Признак	Описание
2. Усики	
	<p>Усики черные или темно-коричневые, 11-члениковые, пильчатые, с расширяющейся к вершине булавой. Значительное утолщение усика начинается с 7 членика. Булава усика асимметричная, присутствуют сенсорные поля. На внутренних и внешних краях усика имеются щетинки и их количество варьируется от 3 до 5 с каждой из сторон. 11-й членик усика не несет на себе щетинок.</p>
3. Брюшко и тазик	
	<p>Передние края тазиков снаружи скрыты, внутри открыты. Брюшко имеет пять четко просматриваемых стернита. Брюшной шип отсутствует.</p>
4. Надкрылья	
	<p>Волосков на надкрыльях нет. Эпиплевры умеренно развитые. Механизм смыкания надкрылий присутствует. Пунктировка надкрылий образует ровные продольные ряды, чешуйки на надкрыльях отсутствуют.</p>
5. Нога	
	<p>Вентральная часть бедра вздута к середине. По бокам голени располагаются шипы. На вершине голени имеется крючковатая шпора. Коготки на лапках простые, зубчик на них отсутствует. На каждом членике лапки имеются пучки волосков их длина равна или немного превышает длину 2-4 члеников. Лапки всех ног 5-члениковые с коротким 1-члеником.</p>

## ЛИТЕРАТУРА

Атлас темнотелок (Trogossitidae) России [Электронный ресурс] / О. Э. Берлов, Э. Я. Берлов, А. Г. Кирейчук Режим доступа: <https://www.zin.ru/ANIMALIA/coleoptera/rus/trogosi.htm>

Мордкович Я. Б., Соколов Е. А. Справочник-определитель карантинных и других опасных вредителей сырья, продуктов запасов и посевного материала. М.: Колос, 1999. 384 с.

Определитель насекомых европейской части СССР. Том 2. Жесткокрылые и веерокрылые / Под общ. ред. члена-корреспондента АН СССР Г. Я. Бей-Биенко. М.-Л.: Издательство «Наука», 1965. С. 217–219.

Орлова-Беньковская М. Я. Справочник по чужеродным жесткокрылым европейской части России. Ч. 1. Ливны: Издатель Мухаметов Г. В., 2019. 550 с.

Пименов С. В. Энтомофауна зернохранилищ Ставропольского края // Защита и карантин растений, 2009, № 6. С. 43–44.

Bousquet Y. Beetles associated with stored products in Canada: an identification guide. Ottawa: Research Branch, Agriculture Canada, 1990. 220 p.

## СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОНА В ПЕЛАГИАЛИ ЮЖНОГО БАЙКАЛА В 2018 г.

**А. А. Демидова, О. О. Русановская**

Научно-исследовательский институт биологии Иркутского государственного университета, Иркутск

E-mail: [dem.anastasia.a@mail.ru](mailto:dem.anastasia.a@mail.ru), [rusanovskaya-o.o@mail.ru](mailto:rusanovskaya-o.o@mail.ru)

Озеро Байкал отличается высокой степенью разнообразия и эндемизма гидробионтов. Сообщество зоопланктона является основой пищевой цепи в пелагиали озер, так как связывает первичных продуцентов с более высокими трофическими уровнями (Selmeszy et al, 2019). Структурные характеристики зоопланктона – один из наиболее чувствительных показателей изменения среды. В зоопланктоне пелагиали озера постоянно присутствуют около 30 видов ракообразных и коловраток. Целью работы является изучение динамики численности и видового состава зоопланктона в пелагиали Южного Байкала в слое 0–50 м в 2018 г.

Материалом для исследования послужили данные круглогодичных, еженедельных сборов проб сетного зоопланктона за 2018 г. Станция отбора проб (Точка № 1) располагается в открытой части Южного Байкала, на расстоянии 2.7 км от берега (51°52'48" с.ш.; 105°05'02" в.д.) над глубиной около 800 м против биостанции НИИ биологии ФГБОУ ВО «ИГУ» (пос. Большие Коты). Орудием лова служила планктонная сеть Джели. Облавливали слой 0–50 м по следующим фракциям: 0–10, 10–25, 25–50 м.

Среднегодовая суммарная численность зоопланктона в 2018 г. –  $1969.95 \pm 485.29$  тыс. экз./м<sup>2</sup>. Доля коловраток составляет 55.44%. На втором месте находится веслоногий рачок *Epischura baikalensis* Sars, 1900 – 43.51%. Виды: *Cyclops kolensis*



Lilljeborg, 1901, *Bosmina longirostris* Müller, 1785 и *Daphnia longispina* Müller, 1776 составляют 0.95%.

Среднегодовая суммарная численность *E. baikalensis* ( $857.2 \pm 87.9$  тыс. экз./м<sup>2</sup>) остается на том же уровне, что и в 2017 г. (Алексеева и др., 2021). Основной прирост численности достигается за счет развития науплиусов (72%). В динамике отмечены два наибольших максимума (рис. 1): ранней весной ( $2164.61 \pm 37.34$  тыс. экз. м<sup>2</sup>), как правило, достигается выходом науплиусов зимне-весеннего поколения, второй – ранним летом, когда наблюдается выход науплиусов летнего поколения.

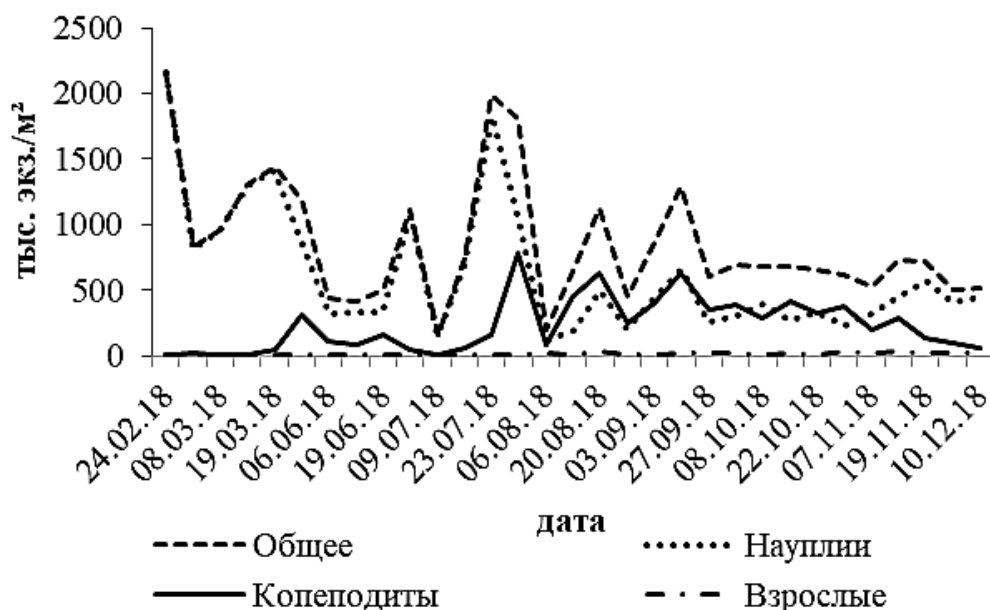


Рис. 1. Динамика численности *E. baikalensis* в слое 0–50 м в 2018 г.

Численные показатели коловраток ( $1092.17 \pm 265.72$  тыс. экз. м<sup>2</sup>) по сравнению с прошлым годом возрастают (Демидова и др., 2021). По-прежнему преобладают круглогодичные коловратки ( $958.09 \pm 23.75$  тыс. экз./м<sup>2</sup>) (рис. 2), с доминированием *Keratella quadrata* Muller, 1786 и *Filinia terminalis* Plate, 1886.

В летне-осеннем комплексе ( $132.86 \pm 45.94$  тыс. экз./м<sup>2</sup>) лидирующее положение принадлежит *Synchaeta stylata* Wierzejski, 1893 и *Collotheca mutabilis* Hudson, 1885 с максимумом развития в августе-сентябре. Наименьший вклад в численность вносит зимне-весенняя группа.

Показатели среднегодовой суммарной численности циклопа ( $13.1 \pm 3.9$  тыс. экз./м<sup>2</sup>), дафнии ( $2.47 \pm 1.54$  тыс. экз./м<sup>2</sup>) и босмины ( $3.10 \pm 0.34$  тыс. экз./м<sup>2</sup>) незначительны (рис. 3). Максимальные показатели зарегистрированы с августа по октябрь.

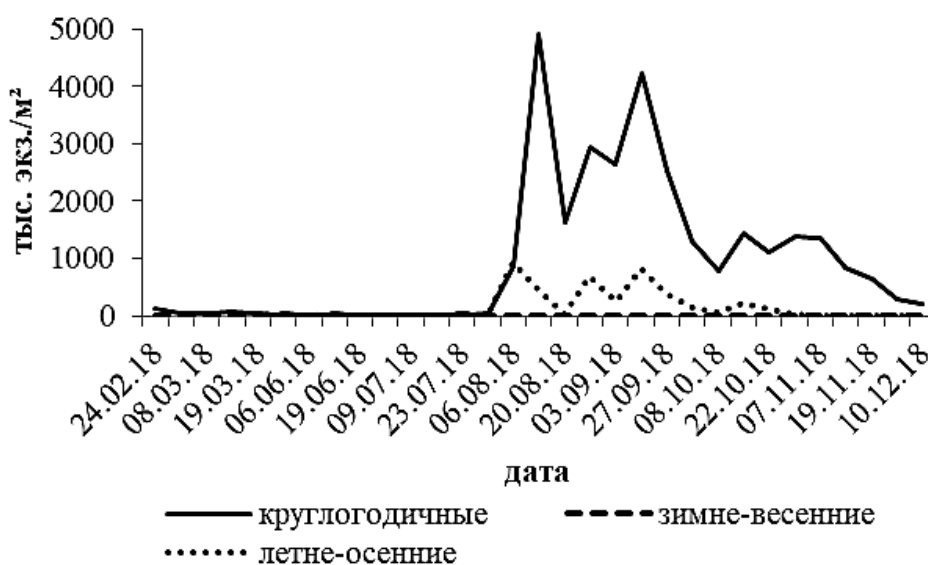


Рис. 2. Численность сезонных групп коловраток в слое 0–50 м в 2018 г.

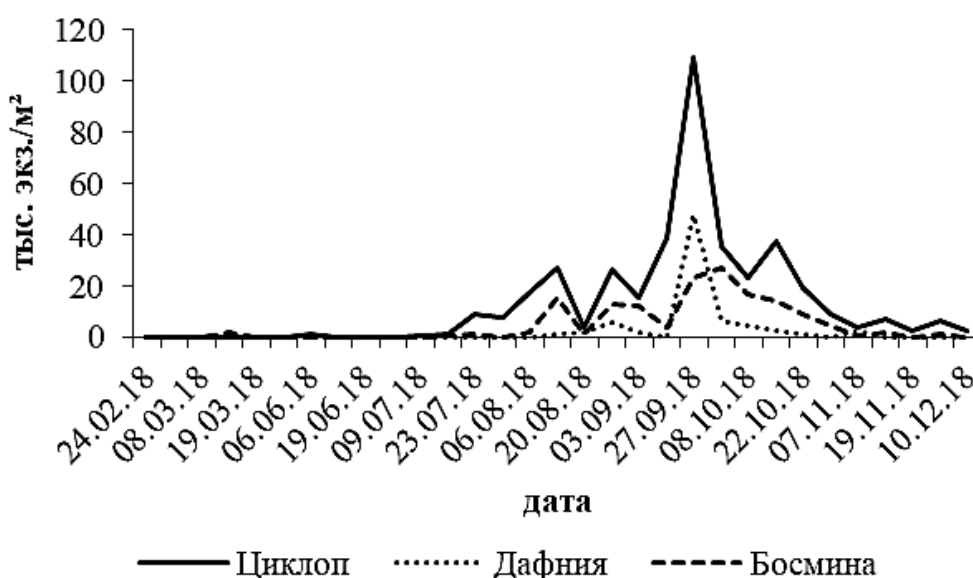


Рис. 3. Численность циклопа и клadoцеры в слое 0-50 м в 2018 г.

В 2018 г. по численности эпишура уступает главенствующее положение коловраткам. По показателям биомассы остается одним из главных компонентов в зоопланктоне. Циклоп и клadoцеры развиваются в малых количествах. Демонстрируется интенсивное развитие круглогодичных коловраток. Зафиксировано смещение сроков наибольшего развития коловраток. В 2018 г. круглогодичная и летне-осенняя группа достигают наибольшей численности раньше, чем в предыдущий год (ранним летом). Наибольшее развитие зимне-весенних видов выявляется, наоборот, позднее.

#### ЛИТЕРАТУРА

Алексеева Т. М. Состояние зоопланктона в пелагиали Южного Байкала в 2017 г. // Социально-экологические проблемы Байкальского региона и сопредельных территорий: ма-

териалы IV всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Иркутск, 23 апреля 2021 г. Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. С. 210212.

*Демидова А. А.* Динамика численности сезонных групп коловраток в пелагиали Южного Байкала в слое 0-50 м в 2017-2019 гг. / А.А. Демидова, Т.М. Алексеева, Р.С. Кривороткин и др. // Биология водных экосистем в XXI веке: факты, гипотезы, тенденции: тезисы докладов всероссийской конференции, посвященной 65-летию Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН. Ярославль, 2021. С. 59.

*Selmeczy G. B., Abonyi A., Krienitz L., Kasprzak P., Casper P., Telcs A., Somogyvári Z., Padisák J.* Old sins have long shadows: Climate change weakens efficiency of trophic coupling of phyto- and zooplankton in a deep oligo-mesotrophic lowland lake (Stechlin, Germany) A causality analysis // *Hydrobiologia*, 2019. V.831(1). P. 101–117. Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3793-7>.

## **ВАРИАЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ (OLIGOCHAETA, LUMBRICIDAE) В СОСНОВЫХ И БЕРЕЗОВО-ОСИНОВЫХ ЛЕСАХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ**

**С. А. Ермолов, А. П. Гераськина**

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва  
E-mail: [ermserg96@gmail.com](mailto:ermserg96@gmail.com), [angersgma@gmail.com](mailto:angersgma@gmail.com)

В лесных сообществах дождевые черви (Oligochaeta, Lumbricidae) являются одними из ключевых организмов-почвообразователей, которые участвуют в формировании гумусового горизонта и минерализации органического вещества почвы, в зависимости от принадлежности к определенной функциональной группе. Данные о структуре и составе комплексов жизненных форм дождевых червей могут использоваться в качестве индикатора состояния лесных почв (Козулько, 1998). Как правило, в лесах – сложных растительных сообществах, состоящих из разных микросайтов – население дождевых червей распределено неравномерно и неоднородно, что часто объясняется условиями конкретного микросайта (Гераськина, Шевченко, 2018). В то же время комплексы дождевых червей в почвенном профиле часто неоднородно распределены даже в местообитаниях одного типа. Причиной этому служат не только физико-химические свойства почв, но и особенности биологии дождевых червей. Исследования вертикального распределения дождевых червей в почве были неотъемлемой частью при создании классификации их жизненных форм, однако в то время не рассматривалась его специфика для разных онтогенетических стадий червей в пределах формы (Перель, 1979). В целом, научных работ с подробным анализом вертикального распределения дождевых червей (как и прочих почвенных беспозвоночных), было проведено сравнительно немного, а со временем почвенно-

зоологические пробы в основном стали отбирать монолитами, и оценка вертикального распределения была сведена к минимуму. В течение нескольких лет на юге Западной Сибири был проведен ряд исследований, посвященных структуре населения педобионтов с учетом их распределения в почвенном профиле различных ландшафтов, но при этом основной акцент был сделан на личинках насекомых, а дождевые черви рассматривались лишь на уровне семейства. Также эти работы проходили в безлесных биогеоценозах: степях, лугах, горных системах (Гришина, 1968; Стебаев, Волковинцер, 1968). Одним из регионов юга Западной Сибири с наибольшим видовым и функциональным разнообразием дождевых червей является Новосибирская область, в частности, район лесостепного Приобья, для которого характерны сосновые и березово-осиновые леса (Ермолов, 2020). Цель данной работы – исследование вариаций вертикального распределения дождевых червей в различных микросайтах сосновых и березово-осиновых лесов лесостепного Приобья Новосибирской области. Предложенное исследование проводится для данного региона впервые.

Сбор материала осуществлялся в летние сезоны 2021–2022 гг. в трех травно-папоротниковых сосняках (Заельцовский бор, Кудряшовский бор, окр. д. Бурмистрово) и трех березово-осиновых папоротниковых лесах (окр. п. Каменушка, окр. п. Морозово, окр. с. Быково). В каждом лесу закладывали по три площадки 10x10 м и выделяли три окна (крупные прорывы в пологе), где отбирали по 5–10 почвенно-зоологических проб методом послойной выкопки (глубина 0–2 см, 2–5 см, 5–10 см, 10–30 см), а также проводили разбор валежника для сравнения фауны. Для дождевых червей установлена видовая и функциональная принадлежность, рассчитаны показатели плотности населения и биомассы на каждый исследованный слой почвы.

Установлено, что в населении почвы сосняков преобладают азиатские виды дождевых червей: *E. nordenskioldi* (почвенно-подстилочные и норные), *E. n. pallida* (собственно-почвенные среднеярусные), *E. sibirica* (подстилочные), а в березово-осиновых лесах – космополиты: *A. caliginosa* (собственно-почвенные среднеярусные), *L. rubellus* (почвенно-подстилочные), *O. lacteum* (собственно-почвенные верхнеярусные). При этом космополиты спорадически встречаются на некоторых площадках в сосняках, а азиатские виды в березово-осиновых лесах в основном неселяют валежник. Широко распространенные подстилочные черви *D. octaedra* и *D. rubidus* отмечены во всех исследованных местообитаниях.

Оценка вертикального распределения дождевых червей в почве была дана для каждого лесного микросайта в двух вариантах: по плотности населения и биомассе разных онтогенетических стадий каждой жизненной формы. Сравнительный анализ полученных вариантов показал, что основу комплексов дождевых червей в сосняках составляют подстилочные и собственно-почвенные среднеярусные формы, а в березово-осиновых лесах — почвенно-подстилочные и собственно-почвенные верхнеярусные формы. В большинстве случаев наблюдаются следующие закономерности: у почвенно-подстилочных дождевых червей крупные скопления ювенильных особей

сосредоточены в слое 0–2 см, а наибольшая плотность населения взрослых особей отмечена в слоях 2–5 и 5–10 см; собственно-почвенные черви (как верхнеярусные, так и среднеярусные) полностью «пронизывают» все исследованные слои, но при этом на разных глубинах наблюдается постепенное сокращение доли ювенильных особей (максимальная численность в слоях 0–2 и 2–5 см) и увеличение взрослых (максимальная численность в слоях 5–10 и 10–30 см). У перечисленных жизненных форм плотность населения ювенильных особей как правило намного превышает таковую у взрослых, но вклад в общую биомассу комплекса обеих онтогенетических стадий либо равноценен, либо биомасса взрослых особей преобладает. Подстилочные черви всех онтогенетических стадий в большинстве своем сосредоточены в слое 0–2 см; их вклад в биомассу комплекса существенен только при высокой плотности населения. Норные черви встречаются крайне редко; вклад в биомассу взрослых особей огромен. В сосновых лесах вариации вертикального распределения дождевых червей в окнах заметно отличаются от таковых под пологом леса низкой плотностью населения и полным отсутствием определенных жизненных форм в некоторых слоях. В микросайтах березово-осиновых лесов вариации вертикального распределения довольно схожи и могут незначительно отличаться плотностью населения и биомассой разных онтогенетических стадий. Валежник в сосновых лесах является своеобразным «продолжением» верхних слоев почвы и подстилки, так как в основном заселен подстилочными червями разных онтогенетических стадий. В березово-осиновых лесах валежник представляет собой отдельный микросайт, населенный дождевыми червями разных жизненных форм и онтогенетических стадий.

*Работа выполнена в рамках проекта «Климаторегулирующие функции и биоразнообразие лесов» (рег. номер НИОКТР 122111500023-6).*

#### ЛИТЕРАТУРА

Гераськина А. П., Шевченко Н. Е. Биотопическая приуроченность дождевых червей в малонарушенных лесах Тебердинского биосферного заповедника // Лесоведение, 2018. № 6. С. 464478.

Гришина Л. Г. Животное население черноземов и сопутствующих им почв Горного Алтая и его изменение под влиянием сельскохозяйственного использования // Животное население почв в беслесных биогеоценозах Алтае-Саянской горной системы. Новосибирск, 1968. С. 209–239.

Ермолов С. А. Сообщества дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae) хвойных и мелколиственных лесов лесостепного Приобья // Вопросы лесной науки, 2020. Т. 3. № 2. С. 1–24.

Козулько Г. А. Почвенные беспозвоночные ясеневых лесов Беловежской пуши как показатель режима их почв // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта, 1998. Т. 4. № 10. С. 78–82.

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

Стебаев И. В., Волковинцер В. В. Животное население каштановых и сопутствующих им почв Тувы и южной части Хакасии // Животное население почв в безлесных биогеоценозах Алтае-Саянской горной системы. Новосибирск, 1968. С. 7–78.

## ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ *EUPHAUSIA SUPERBA* (DANA, 1850) (EUPHAUSIACEA: EUPHAUSIIDAE) ИЗ ДВУХ РАЙОНОВ ЮЖНОГО ОКЕАНА В 2020 г.

**А. Д. Колесникова, С. А. Судник**

Калининградский государственный технический университет, Калининград

E-mail: [kolesnikova\\_aleksasha@bk.ru](mailto:kolesnikova_aleksasha@bk.ru), [svetlana.sudnik@klgtu.ru](mailto:svetlana.sudnik@klgtu.ru)

Антарктический криль (*Euphausia superba*) – вид из отряда эуфаузиевых ракообразных, крупнейший перспективный промысловый ресурс Мирового океана, ценнейшее сырье для многих отраслей промышленности (Антарктический криль, 2001). Несмотря на многочисленные исследования биологии, питание криля изучено недостаточно. Известно, что вид имеет широкий спектр питания, где значимы диатомовые водоросли (Павлов, 1969; Антарктический криль, 2001). Наша работа – первое исследование питания *E. superba* в море Уэдделла и проливе Брансфилда. При использовании оригинальной методики исследования питания гидробионтов (Буруковский, 2009) для вида впервые оценен тип трофического поведения.

Материал исследования представлен в таблице 1. Перед исследованием содержимого желудков рачков подвергали полному лабораторному биологическому анализу (методика: Судник, Колесникова, 2022). Стратегия питания определялась с помощью классификации (Буруковский, 2009).

*Таблица 1*

**Материал криля *Euphausia superba*, море Уэдделла, 2020 г.**

Место сбора	Дата	Глубина, м	Орудие сбора	Сборщик	Фиксация пробы	Количество особей, экз.
пролив Брансфилда	21.01.	223	сеть Бонго	сотрудники Института им. Ширшова (г. Москва) В. А. Спиридонов, А. К. Залота, В. А. Яковенко, К. М. Горбатенко	4-% раствор формалина	15
бассейн Пауэлла моря Уэдделла	28.01.	216	сеть Джеди			25

Среди исследованных особей криля было 28% ювенильных особей, 42% самок и 30% самцов. Общая длина тела самок составила 30–35 мм ( $32.0 \pm 0.5$  мм), у самцов – 29–33 мм ( $30.0 \pm 0.6$  мм). Исследованные самки имели или неразвитые яичники или

их гонады были в самом начале созревания (стадии зрелости II и III, соответственно). Все самцы имели неразвитые семенники (были на стадии зрелости II).

У всех особей в желудках имелась пища: 64% из них характеризовались как сытые рачки (балл наполнения 3); у остальных 36% желудки были полупустыми (баллы наполнения 1 и 2). Все пищевые объекты, встреченные в желудках *E. superba*, можно разделить на две группы. Первую группу составили веслоногие раки (Copepoda), диатомовые и перидиневые водоросли (Bacillariophyta и Peridinea) (табл. 2).

От представителей рачков *Cyclops* и *Calanus* встречались грудные сегменты, обрывки антенн, фурки с щетинками, грудные и брюшные плавательные ножки; состояние их покровов позволяло предположить, что они были съедены живыми; их количество в желудках варьировало (2–5 экз.). Количество перидиниевых водорослей в желудках было 30–40 экз. ( $32 \pm 2$  экз.); диатомовых (*Actinocyclus*, *Synedra*) – не более 2–3 экз. Останки родственных особей *E. superba* в желудках были представлены фрагментами карапакса, тельсона, плавательных ног и многими фильтрующими щетинками. Все исследованные особи криля находились в состоянии линьки, что позволяет сделать вывод о наличии каннибализма у вида в период массовой линьки его особей. Это отмечено и в других работах (Marr, 1962). По степени важности в питании *E. superba* (определена по частоте встречаемости объектов в желудках) можно выделить три категории пищевых объектов. *Первостепенные* объекты: перидиниевые водоросли (частота встречаемости 71.5 %). *Второстепенные*: особи криля рода *Euphausia* (22.0%). Остальные жертвы, встреченные в 7 и более раз реже доминирующих, отнесены к *редким* или *случайным*: диатомовые водоросли, веслоногие рачки. Уточнение данной классификации пищевых объектов будет выполняться при дальнейших исследованиях.

Таблица 2

Состав пищи антарктического криля, *E. superba*

Объекты питания		Частота встречаемости, %	Доля объекта в объеме усредненного виртуального пищевого комка, %
название	таксон		
<i>Peridinium</i>	Peridinea	71.5	60.0
<i>Synedra</i>	Bacillariophyta	9.8	3.0
<i>Actinocyclus</i>	Bacillariophyta	11.5	4.0
<i>Calanus</i>	Copepoda	10.0	2.0
<i>Cyclops</i>	Copepoda	6.5	3.0
<i>Euphausia</i>	Euphausiacea	22.0	28.0
неопределенные органические остатки	—	15.3	—
песчинки	—	5	—

Ко второй группе пищевых объектов отнесены несъедобные (песчинки) и неопределенные остатки (табл. 2). Песчинки (размеры 0.2–0.7 мкм) встречались редко (частота встречаемости 5%), но всегда в большом количестве. Это необычно для пелагических видов, однако для криля наблюдали их случайный захват во время сильных штормов (Marr, 1962, Павлов, 1969; Павлов 1986). В 15% желудков отмечены остатки организмов в виде обрывков, невозможных для идентификации. Доминирующие и второстепенные объекты питания составляли основной объем пищевого комка. Среди них на первом месте были перидиневые водоросли (60% от объема комка), на втором – *E. superba* (28%); фрагменты тел веслоногих рачков, диатомовые водоросли и неопределенные органические остатки составили в сумме до 2–4%.

Поскольку криль проявил себя и как хищник, был оценен коэффициент Фроермана (среднее количество объектов питания в желудке). Он был равен 1.5, что, согласно (Буруковский, 2009) означало: особи проявили себя как пасущиеся хищники – использовали в пищу один вид объекта, но в нескольких или многих экземплярах. Размеры его жертв, в случае поедания родственных особей, были сравнимы с размерами хищника или / и, при поедании веслоногих рачков, были значительно меньше его размеров. У *E. superba* отмечено использование при добывании пищи не только фильтрационного, но и грасперного (схватывающего) питания с помощью торакоподов 1 и 2 (Павлов, 1986).

Первичная оценка состава пищи *E. superba* из моря Уэддэлла и пролива Брансфилда показала: вид проявил себя как миксофаг, который в одно время, при их доступности, выбирал преимущественно перидиниевые водоросли, а в другое – сочетал фитопланктофагию с хищничеством или полностью проявлял себя как пасущейся хищник, питаясь зоопланктоном и беззащитными линяющими родственными особями.

*Выражаем искреннюю благодарность сотрудникам института им. Ширшова за переданный материал; профессору кафедры ВБА Рудольфу Николаевичу Буруковскому за помощь в изучении состава пищи желудков антарктического криля E. superba.*

#### ЛИТЕРАТУРА

Marr J. W. The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) // Discovery Rep., 1962. Vol.32. P. 33–464.

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

Буруковский Р. Н. Питание и пищевые взаимоотношения креветок. Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2009. 408 с.

Павлов В. Я. Питание криля и некоторые особенности его поведения // Труды ВНИРО. М.: Изд-во ВНИРО, 1969. С. 207–222.



Павлов В. Я. Планы строения пицедобывательных аппаратов водных членистоногих // Питание морских беспозвоночных в естественных условиях. М.: Изд-во Инст. океанол. АН СССР, 1986. С. 101–113.

## ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФАУНЫ МАКРОБЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ОЗЕРЕ СОЛЁНОЕ (ЮЖНО-МИНУСИНСКАЯ КОТЛОВИНА)

Л. А. Крюкова, С. В. Драган

Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, Абакан

E-mail: [lida.kryukova.18@mail.ru](mailto:lida.kryukova.18@mail.ru); [dragan@khsu.ru](mailto:dragan@khsu.ru)

Фауна водных беспозвоночных минеральных озёр на территории Минусинского прогиба, особенно площадью менее 1 га изучены недостаточно. Озеро Солёное или Ханкуль один из таких водоёмов.

Озеро Солёное расположено на территории Аскизского района в Республике Хакасия, в 60 км на ЮЗ от г. Абакан, на днище Южно-Минусинской котловины у подножия горы Саратов (397.8 м над ур. м.). Водоём вытянут в юго-западном направлении (Парначев и др., 2003). Площадь озера составляет около 171 га, а длина береговой линии – 5.6 км (Волкова, Дремина, 2018). Высота уреза воды составляет 318.4 м над ур. м. По водному режиму озеро Солёное относится к бессточным. Озеро относят к среднеминерализованным (11.5 г/дм<sup>3</sup> в 1999 г.) со слабощелочной натриевой сульфатно-хлоридной водой (Парначев и др., 2003).

Материалом для сообщения послужили сборы авторов, проведённые в 2020–2022 гг. Всего было изучено более 1600 особей макробеспозвоночных на разных стадиях развития. Количественная характеристика проб за 2022 г., особенности сбора материала и краткая физико-географическая характеристика гидробиологических станций опубликованы ранее (Крюкова, 2022). Сборы ракообразных переданы для постоянного хранения в фонды Учебно-научной лаборатории биологического разнообразия кафедры биологии Хакасского государственного университета им. Н. Ф. Катанова (г. Абакан).

На основе изученных материалов впервые составлен предварительный список макробеспозвоночных для оз. Солёное, включающий 17 таксонов, из которых 14 определены до уровня вида. 88% общего таксономического разнообразия фауны составляют насекомые, представленные 6 семействами из 5 отрядов (табл.). Наибольшим видовым богатством в фауне макробеспозвоночных характеризуются семейства Corixidae (29%) и Hydrophilidae (12%). Среди макробеспозвоночных ракообразные представлены одним видом — *Gammarus lacustris* Sars, 1864.

Таблица

**Таксономическая структура фауны макробеспозвоночных в оз. Солёное (Ханкуль)  
по материалам за период с 2020 по 2022 гг.**

Класс	Отряд	Семейство	Количество таксонов	
			Род	Вид
Malacostraca	Amphipoda	Gammaridae	1	1
Arachnida	Trombidiformes	-	-	-
Insecta	Odonata	Coenagrionidae	1	1
		Libellulidae	1	1
	Heteroptera	Corixidae	3	5
	Coleoptera	Hydrophilidae	2	2
		Dytiscidae	1	1
		Chrysomelidae	1	1
	Trichoptera	Leptoceridae	1	1
	Diptera	Ceratopogonidae	-	-
		Chironomidae	-	-
Ephydriidae		1	1	
Всего:	-	-	12	14

Выявленное таксономическое разнообразие не является полным. Следует ожидать новых находок насекомых из отрядов Diptera, Coleoptera и Heteroptera.

Таким образом, в фауне оз. Солёное пока известны 19 таксонов водных и амфибиотических беспозвоночных (Крюкова, 2022). Водные клопы *Cumatia rogenhoferi* (Fieber, 1864) и *Paracorixa concinna* (Fieber, 1848), листоед *Macrolea mutica* Fabricius, 1792 ранее не приводились для фауны Хакасии.

*Авторы благодарят канд. биол. наук А. А. Асочакова (Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова; г. Абакан) за помощь в определении G. lacustris, студентов Е. С. Халаеву, М. А. Краузе и Е. С. Малкову за помощь в проведении исследования, а также М. Э. Иванова (г. Абакан) за содействие в организации экспедиции в 2020 г.*

#### ЛИТЕРАТУРА

Волкова А. И., Дремина И. В. Трансформация растительности прибрежных ландшафтов оз. Солёное Республики Хакасия // Экологический мониторинг и биоразнообразие: материалы всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции. Ишим: Изд-во ИПИ им. П. П. Ершова (филиала) ТюмГУ, 2018. С. 51–53.

Крюкова Л. А. Таксономическая структура сообществ макробеспозвоночных и качество поверхностных вод в литорали озера Солёное (Республика Хакасия) // Биоразнообразие, состояние и динамика природных и антропогенных экосистем России: материалы II всероссийской научно-практической конференции. Комсомольск-на-Амуре, 2022. Комсомольск-на-Амуре: Изд-во АГПУ, 2022. С. 150–154.

*Парначев В. П., Вишневецкий И. И., Бэнкс Д., Макаренко Н. А., Копылова Ю. Г., Сметанина И. В., Архипова Н. В., Архипов А. Л.* Минеральные озера Республики Хакасия (общая характеристика и состав вод) // Вопросы географии Сибири. Вып. 25. Томск: Изд-во ТГУ, 2003. С. 118–135.

## **СТРУКТУРА СООБЩЕСТВА МШАНОК РЕКИ ВОЛОГДЫ**

**И. А. Мастаков**

Вологодский государственный университет, Вологда

E-mail: [mastakov.1998@yandex.ru](mailto:mastakov.1998@yandex.ru)

Мшанки представляют собой колониальные организмы, ведущие как, правило, прикрепленный образ жизни. Различные виды мшанок населяют морские и пресные воды. Несмотря на практически повсеместную распространенность, сообщества мшанок зачастую остаются за рамками внимания гидробиологов и многие вопросы, касающиеся образа жизни и систематического положения этой группы остаются дискуссионными.

Сведения о мшанках определённых частей внутренних вод европейской части России очень немногочисленны. Основные работы по мшанкам касаются отдельных техногенных водоемов и дельты Волги (Протасов, 1994; Виноградов, 2003; Гонтарь, 2010). Мшанки северных рек до этого момента никем специально не изучались.

При этом мшанки имеют огромное значение, как для функционирования водных сообществ, так и в хозяйственной жизни человека. Являясь фильтраторами, они осаждают большое количество взвешенных частиц, способствуя самоочищению водоемов. Часто мшанки составляют основу перифитона как по биомассе, так и формируя местообитания для множества ассоциированных организмов. Кроме того, мшанки часто вредят техническим системам водоснабжения, использующим воды их природных источников поселяясь в них и нарушая ток воды.

Изучалось население мшанок реки Вологды, в пределах и окрестностях города Вологды. Река Вологда, относящаяся к средним рекам, приставляет собой правобережный приток Сухоны, принадлежит бассейну Северной Двины. Имеет большое значение для водоснабжения и формирования облика города, который расположен на 27–37 км от устья. Качество воды в реке от загрязненной до очной грязной, причинами загрязнения являются недостаточно очищенные сточные воды и береговой сток (Трусова, 2012).

Целью работы было определить таксономический состав мшанок и структуру мшанкового сообщества. Для этого выполнили обследование всех типов погруженных субстратов акватории реки, были определены виды мшанок и выявлены пред-

почитаемые субстраты, подсчитано количество и площади колоний. Проведено обследование проб планктона на предмет наличия статобластов.

Материал собирали в период 2021–2023 гг. в прибрежной части с берега и с лодки. Обследовали различные типы субстратов: как природные, так и антропогенные. Наиболее широко в реке в качестве субстрата для обрастания представлена высшая водная растительность (осоки, кубышка, ивы), фрагменты мертвой древесины и различные каменистые обломки. Также просматривали поверхности антропогенного происхождения: стеклянный и пластиковый мусор, старые крышки, и берегоукрепительные сооружения. Мшанок соскабливали с помощью скальпеля, подсчет колоний проводили визуально, раздельно считая живые и мертвые колонии. Видовую принадлежность определяли в лаборатории, под микроскопом при увеличении  $10\times 20$ .

Сбор расселительных стадий мшанки (статобластов) в планктоне проводили с помощью сети Джейди в зарослях проливанием, в открытой воде пропусканием с лодки или со льда. Пробы обрабатывали по стандартной для планктона методикам в камере Богорова. Наблюдение на субстратах проводили в конце вегетационного сезона в июле-сентябре, сбор планктона выполняли осенью (сентябрь) и зимой (декабрь-февраль).

Всего к настоящему времени определено 4 вида мшанок, относящихся к двум семействам, три вида из семейства *Plumatellidae*: *Plumatella repens* (Linnaeus, 1758), *Plumatella fungosa* (Pallas, 1768), *Plumatella fruticosa* (Allman, 1844); из семейства *Cristatellidae* был обнаружен один вид *Cristatella mucedo* (Cuvier, 1798). Мы предполагаем, что это еще не полный список, так как необходимо провести круглогодичные наблюдения и более широкое обследование распространенных субстратов для выявления редких видов.

*C. mucedo* относится к видам мшанок, которые могут перемещаться по субстрату и в толще воды, в результате чего редко отмечаются исследователями. Тем не менее, эта мшанка отмечена для реки Молога (Волжский бассейн) и Ладожского озера (устное сообщение Мухин, 2022). *P. repens*, *P. fungosa* часто встречаются в реках центральной и северной части Европы – в Волге, Дунае, а также на Черном и Каспийском морях (Виноградов, 2003), озере Кубенском (Слепухина, 1977).

На субстратах чаще всего встречается вид *P. fungosa*, в конце вегетационного сезона чаще всего она отмечается на нижней стороне листьев кубышки – в среднем, мшанки отмечены на 80% обследованных листьев. Впрочем, следует отметить, что площадь колоний в этом случае редко превышает один квадратный сантиметр.

Все три вида семейства *Plumatellidae* (*P. repens*, *P. fungosa*, *P. fruticosa*) практически одинаково часто встречаются на погруженных в воду побегах ивы. Частота встречаемости этих видов составляет 10, 9 и 15% соответственно. На других обследованных типах субстратов мшанки обнаружены не были. При этом не выявлено ни одной колонии *C. mucedo*, статобласты которой присутствуют в планктоне. Это говорит о необходимости дальнейшего тщательного изучения погруженных в воду

объектов. В планктоне наиболее часто встречаются представители двух видов *P. repens*, *P. fungosa* (численность составляет в среднем 700 и 600 экз/м<sup>3</sup> соответственно). Менее представлена *C. Mucedo* (90 экз/м<sup>3</sup>).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Виноградов А. В.* Фауна мшанок (Eurystomata + Phylactolaemata) Понто-Каспийской солоноватоводной области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2003. Т. 5. № 2. С. 256–267.

*Гонтарь В. И.* Мшанки (Bryozoa, Polyzoa, Ectoprocta) пресных водоемов России // Алтайский зоологический журнал, 2010. Вып. 4. С. 52–62.

*Трусова Л. Н.* Комплексная оценка степени загрязненности реки Вологда // Известия Российского педагогического университета им. А.И. Герцена, 2012. № 153. С. 124–129.

*Слепухина Т. Д.* Зообентос и фитофильная фауна оз. Кубенского // Озеро Кубенское. Ч. III. Зоология. Л.: Наука, 1977. С. 51–86.

*Протасов А. А.* Пресноводный перифитон. Киев: Наукова думка, 1994. 305 с.

### **СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ *VIPERA BERUS* В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ ТУНДРИНСКОГО МАТЕРИКА**

**Л. Н. Несен, Т. Р. Мельник, А. С. Петрякин, А. Г. Калиновская, Ф. В. Тюшкевич.**  
Сургутский государственный университет, Сургут  
E-mail: [lyuba.nesen.00@mail.ru](mailto:lyuba.nesen.00@mail.ru)

На севере Западной Сибири рептилии находятся в экстремальных условиях, что обусловлено климатическими особенностями данного региона (Шамгунова, 2010), также дополнительными отрицательными воздействиями выступают антропогенные факторы, связанные с деятельностью нефтегазодобывающего комплекса. В связи с чем, изучение вопросов экологии рептилий в данном регионе является актуальной проблемой. Одна из важнейших экологических характеристик животных – численность.

На территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (далее ХМАО–Югры) обыкновенная гадюка распространена неравномерно. В определенных местах она образует «змеиные очаги» с относительно высокой плотностью (в центральной части и на юге встречаются до 10 особей на 1 га), но может отсутствовать вовсе на больших участках (на севере округа обилие достигает 6 особей на 1 га). Такое распределение плотности связано с ограниченным количеством оптимальных биотопов, а также с частичным истреблением человеком. Вид внесён в Красную книгу ХМАО–Югры (Красная книга ХМАО–Югры, 2013).

Изучение динамики сезонной активности обыкновенной гадюки (*Vipera berus*) проводили на территории Тундринского материка, в частности, в окрестностях села Тундрино Сургутского района ХМАО–Югры с 2021 по 2022 гг. Общее количество отловленных змей составило 64 особи. Исследования проводились в соответствии с общепринятыми методами полевых исследований экологии рептилий (Щербак, 1989). Змей учитывали на пробных площадках и на постоянных маршрутах. Относительную численность оценивали косвенным показателем – плотностью, который выражали в количестве особей на 1 га (Шляхтин, 1986). Все отловленные животные после снятия необходимых измерений были помечены и возвращены обратно в естественную среду.

Особенностью пространственного размещения обыкновенной гадюки на данной территории является – локальное распределение и приуроченность к местообитаниям, с минимальным древостоем. В частности, высокая концентрация обилия этих змей характерная для верховых болот и экотонов с ними, а также вырубок среди хвойных лесов и разнотравных лугов.

В ходе исследования за 2021 год было выявлено, что на изученной территории гадюка придерживается верховых болот и рямов, достигая на верховом кустарничково-сфагновом болоте наибольшего обилия. Гадюка редка в биотопах: кедрач кустарничково-сфагнумный, пойменный разнотравный луг, березовое вейниково-осоковое низинное болото в притеррасной пойме. Не была обнаружена гадюка в кедраче папоротниково-кустарниковом на понижении, в березово-сосновом вейниковом лесу и в березово-сосновом долгомошном лесу на месте вырубки. Поэтому в дальнейшем мониторинг проводился только на верховом болоте.

У обыкновенной гадюки выход из спячки и уход на зимовку зависит от погодных условий окружающей среды (Куранова, 1981; Шамгунова, Стариков, 2007). Первыми из зимовки выходили взрослые змеи, что связано с необходимостью приступать как можно раньше к размножению в весенний период. Продолжительность периода активности гадюки на изученной территории составляет от 110 до 128 дней.

Изменение сезонной активности гадюки связано с ходом суточных температур и подвержено сезонной динамике. Степень активности в разное время суток зависит от погодных условий. Выявлена средняя корреляционная связь между активностью гадюки и температурой приземного слоя атмосферы ( $r=0.78$ , при  $\alpha=0.05$ ). Так, температура приземного слоя воздуха, её резкое повышение или понижение на 2-2.5°C, может как стимулировать выход змей на поверхность, так и наоборот отсрочить выход гадюки из зимовки. (Куранова, 1981).

В 2021 году минимальная активность гадюки была зафиксирована в мае (1.0 ос./га). В июне-июле активность возросла более чем в 4 раза (4.3 и 4.5 ос./га), так как происходит выход молодых особей, а также устанавливаются более благоприятные температурные условия. В августе наблюдался резкий спад активности почти в 2 раза (2.7 ос./га), что связано с изменением хода суточных температур. В

этот период змеи начинают готовиться к зимовке и перестают питаться. В конце августа – начале сентября гадюка уходит на зимовку.

В 2022 году активность гадюки в мае составила 3.3 ос./га, что в 3 раза выше, чем было зафиксировано в аналогичном месяце 2021 года. В июне произошло трехкратное падение активности (1.0 ос./га), на что влияли перепадами температуры, которые колебались в пределах от +4°C до +25°C. В июле активность возросла до 2.3 ос./га и к концу августа достигала своего максимального значения – 5.5 ос./га. Минимальная активность гадюки отмечена в сентябре (0.3 ос./га).

Таким образом, анализ данных за два года показал, что активность гадюки может изменяться как в зависимости от погоды в конкретный месяц, так и от сезонных изменений погоды в целом. Наибольшая активность гадюки наблюдается в период выхода из зимовки в связи с необходимостью размножения весной, а также в середине лета, когда выходят молодые особи и устанавливаются более благоприятные температурные условия. В августе активность гадюки снижается, так как змеи готовятся к зимовке и перестают питаться. В целом, данное исследование важно для понимания поведения гадюки и ее адаптации к изменяющимся условиям Севера.

#### ЛИТЕРАТУРА

Красная книга Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: животные, растения, грибы / отв. ред. Васин А. М., Васина А. Л. Екатеринбург: Издательство Баско, 2013. 460 с.

Куранова В. Н. Биология обыкновенной гадюки (*Vipera berus*) в Томской области / В. Н. Куранова, В. Г. Колбинцев // Вопросы герпетологии. Томск: Наука, 1981. С. 80–81.

Шамгунова Р. Р., Стариков В. П. Экология и морфологические особенности рептилий природного парка «Самаровский чугас» // Сборник научных трудов СурГУ. Сургут: СурГУ, 2007. Вып. 27. С. 51–62.

Шамгунова Р. Р. Эколого-географическая характеристика рептилий средней и северной тайги Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук: Екатеринбург, 2010. 15 с.

Шляхтин Г. В., Голикова В. Л. Методика полевых исследований экологии амфибий и рептилий. Саратов, 1986. 78 с.

Щербак Н. Н. Руководство по изучению земноводных и пресмыкающихся. Киев: Наукова Думка, 1989. 172 с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ГАРПАКТИКОИД (HARPACTICOIDA, COPEPODA) ОЗЕРА БАЙКАЛ

**Е. И. Попова\***, **Е. Б. Фефилова\*\***, **И. О. Велегжанинов\*\***,

\*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар

E-mail: [elizavetaropova92@gmail.com](mailto:elizavetaropova92@gmail.com)

\*\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [fefilova@ib.komisc.ru](mailto:fefilova@ib.komisc.ru), [vellio@yandex.ru](mailto:vellio@yandex.ru)

Изучение эволюционных процессов в фауне оз. Байкал ведется уже более столетия. Богатство таксономии, разнообразие и обширные знания об особенностях функционирования байкальской экосистемы дают дополнительные возможности изучения процессов формирования видообразования. Как древнейшее озеро, Байкал является удобной модельной экосистемой для изучения филогении различных групп обитающих в нем организмов (Щербаков и др., 2016). Невидимые невооруженным глазом гарпактикоиды (Harpacticoida) распространены на всех донных биотопах озера и являются многочисленными (субдоминантами) в сообществах мейобентоса (Окунева, 1989; Окунева, Евстигнеева, 2001; Fefilova et al., 2023), по числу выявленных видов (78) они занимают в озере третье среди ракообразных место (после Amphipoda и Ostracoda). Нужно понимать, что видовое богатство байкальских гарпактикоид может быть существенно выше, это связано с недостаточной изученностью состава их фауны, особенно больших глубин, и высокой морфологической изменчивостью таксонов (Fefilova et al., 2023). Филогенетические исследования байкальских гарпактикоид были до сих пор единичными (Boxshall, Evstigneeva, 1994) и не включали анализ молекулярно-генетические данные.

Целью нашей работы было получение генетических баркодов гарпактикоид из оз. Байкал, а именно нуклеотидных последовательностей фрагмента гена первой субъединицы цитохромоксидазы митохондриальной ДНК (COI) и анализ уровня их изменчивости посредством сравнения генетических дистанций.

Материалом для исследований послужили Harpacticoida из оз. Байкал, Байкальского региона и других регионов России (дельта р. Лена, р. Енисей, плато Путорана, Западный Саян, Челябинская область). Образцы из Южного Байкала были собраны нами летом 2022 г. Пробы отбирали с небольших по меркам Байкала глубин (0.1-40 м) с помощью легко-водолазной техники, сачком с мелкочаеистым капроновым ситом, а также специально изготовленной утяжеленной драги, снабженной длинным мешком из капронового сита. Пробы из Западных Саян (природный парк «Ергаки»), р. Енисей собирали летом 2021 г. с помощью сачка. Живые пробы сортировали в полевых условиях, гарпактикоид из них отсаживали в отдельные пробирки с 96% этиловым спиртом. Кроме того, в работе использованы рачки из спиртовых проб мейобентоса, собранных другими специалистами в оз. Байкал, Байкальском регионе



(Т. Я. Ситникова, Т. Ю. Майор, Т. М. Алексеева), дельте р. Лена (А. А. Новиков), на плато Путорана (Е. С. Чертопруд), Челябинской области (М. А. Батурина).

Морфологические исследования (микроскопия особей) проводились в отделе экологии животных Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, подготовка и секвенирование ампликонов COI – в Центре коллективного пользования «Молекулярная биология» того же института. Секвенирование образцов ДНК осуществлялось в ЦКП «Геном» Института молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта РАН и научно-производственной компании «Синтол».

В результате работы впервые получены генетические баркоды для шести видов Harpacticoida из оз. Байкал и впадающей в него р. Черная: *Harpacticella inopinata* Sars (OP413644-OP413645, OP413647-OP41352), *Canthocamptus (Baikalocamptus) longifurcatus* Borutzky (OP963383-OP963384), *Bryocamptus* sp. 1 (OP970173), *Bryocamptus* sp. 2 (OP970174), *Bryocamptus (Echinicamptus)* sp. (OQ436440), *Attheyella (Neomrazekiella) nordenskioldii* Lilljeborg (OP903365, OQ401014-OQ401016), *A. (Ryloviella) baikalensis* Borutzky (OP970222-OP970224), *Moraria (Baikalomoraria) longicauda* Borutzky (OQ436439, OQ436441, OQ436442), всего 23 последовательности. В скобках указаны ассоциированные с ними номера сиквенсов из GenBank. Кроме того, в работе использованы генетические баркоды десяти видов гарпацикоид из других регионов Сибири и Восточной Европы.

Попарные молекулярные дистанций COI между баркодами отдельных видов, обнаруженных в оз. Байкал в основном не превышали 3.7% (для *A. baikalensis*, *A. nordenskioldii*, *C. longifurcatus*), что указывало на генетическую однородность и целостность этих таксонов. В то же время, генетические дистанции между последовательностями особей байкальского субэндемика *H. inopinata* достигали 24.3% внутри озера и составляли 0.8–23% между особями из Байкала и Енисея. Генетические расстояния между *A. nordenskioldii* из оз. Байкал и *A. nordenskioldii* из оз. Ойское (Западный Саян) варьировали от 3.1 до 3.7%. Между последовательностями COI небайкальских и байкальских представителей разных родов (*Maraenobiotus*, *Bryocamptus*) варьировали от 22.7–27.8%.

На основании проведенного анализа сделано несколько предварительных заключений, касающихся особенностей генетического разнообразия Harpacticoida в оз. Байкал и в целом Палеарктики. Так, высокие значения генетических дистанций гена COI у некоторых байкальских видов, существенно превышающие таковые для небайкальских из географически удаленных местообитаний, могут свидетельствовать древности и/или ускоренном темпе их эволюции, а кроме того служат основанием для пересмотра их таксономии.

*Мы благодарим специалистов Лимнологического института СО РАН (Т. Я. Ситникова, Т. Ю. Майор, Т. М. Алексеева), Казанского федерального университета (А. А. Новиков), Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Се-*

верцова РАН (Е. С. Чертопруд), Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (М. А. Батурина) за предоставленный материал.

Работа выполнена в рамках и при финансовой поддержке гранта РФФ 22-24-00030 (<https://rscf.ru/project/22-24-00030/>).

#### ЛИТЕРАТУРА

Евстигнеева Т. Д., Окунева Г. Л. Гарпактициды (Harpacticoida) // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Новосибирск, 2001. Т. 1: Озеро Байкал, кн. 1. С. 468–490.

Окунева Г. Л. Гарпактициды озера Байкал. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1989. 150 с.

Щербаков Д. Ю., Коваленкова М. В., Майкова О. О. Некоторые результаты молекулярно-филогенетических исследований байкальских эндемичных беспозвоночных // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2016; 20(4):403-407. DOI 10.18699/VJ16.169.

Voxshall G. A., Evstigneeva T. D. The evolution of species flocks of copepods in Lake Baikal: a preliminary analysis // Arch. Hydrobiol., 1994. V. 44. P. 235–245.

Fefilova E. B., Sitnikova T. Y., Novikov A. A. The First Data on Harpacticoid Copepod Diversity of the Deep-Water Zone of Lake Baikal (Siberia, Russia) // Diversity, 2023. V. 15. P. 94. DOI /10.3390/d15010094.

### ОЦЕНКА АДАПТИВНЫХ РЕАКЦИЙ ЛЕЙКОЦИТАРНОЙ СИСТЕМЫ КРОВИ БОЛОТНОЙ ЧЕРЕПАХИ (*EMYS ORBICULARIS*) (REPTILIA: EMYDIDAE)

И. А. Столярова\*, Е. Б. Романова\*, А. Г. Бакиев\*\*, Р. А. Горелов\*\*

\*Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,  
Нижний Новгород

E-mail: [irinaisto75@gmail.com](mailto:irinaisto75@gmail.com)

\*\* Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук, Тольятти

Важнейшая физиологическая функция иммунитета заключается в поддержании динамического равновесия внутренней среды организма, защите от паразитов и чужеродных агентов (ксенобиотиков). Поэтому оценка адаптивных ответов является чувствительным маркером оценки состояния организма и косвенно свидетельствует о качестве среды обитания. Организация иммунной системы рептилий имеет много общего, с одной стороны с кровью рыб и амфибий, с другой – птиц и млекопитающих (Coico et al., 2003). Клеточные механизмы адаптивных реакций у рептилий представлены набор лейкоцитов: гетерофилами, эозинофилами, базофилами, моноцитами и лимфоцитами (Davis et al., 2008). С наличием в крови лейкоцитарных клеток связана специфическая (адаптивный иммунитет), неспецифическая (в первую

очередь, фагоцитоз) защита организма и уровень стрессового воздействия. Измерение количественного соотношения лейкоцитарных клеток в крови животных позволяет не только оценить физиологическое состояние организма, но и его адаптивный потенциал (а также получить сравнительные гематологические характеристики популяций рептилий в условиях инвазии и антропогенного стресса (Васильев и др., 2016; Metin et al., 2006; Perrinan et al., 2009).

Целью работы являлся сравнительный анализ адаптивных реакций системы крови болотной черепахи степной зоны заповедника «Оренбургский» при инвазии гемопаразита *Haemogregarina spp.* в динамике двухлетних наблюдений.

На территории заповедника «Оренбургский» были проанализированы две выборки из популяций болотной черепахи: Буртинская (16–17 июня 2020 г.: 16 особей: 11 самок и 5 самцов) и Айтуарская (13–16 июня 2021 г.: 15 особей – 7 самок, 4 самца, 4 ювенильных особи). После взятия крови особи были возвращены в места отлова. Окрашенные препараты просматривали с иммерсией с дифференцированным подсчетом лейкоцитов. По морфологическим особенностям определяли пять типов лейкоцитарных клеток (в %): гранулоциты (гетерофилы, базофилы, эозинофилы) и агранулоциты (моноциты, лимфоциты). На основании лейкоцитарной формулы крови рассчитали интегральные лейкоцитарные индексы.

Многомерный дисперсионный анализ выявил значимое влияние на лейкоцитарные формулы болотных черепах, добытых в Оренбургской области, таких факторов, как: пол ( $\lambda$ Wilks = 0.791,  $p = 0.014$ ), биотоп ( $\lambda$ Wilks = 0.510,  $p < 0.001$ ), наличие гемопаразитов в эритроцитах ( $\lambda$ Wilks = 0.823,  $p = 0.044$ ) и их взаимодействия ( $\lambda$ Wilks  $< 0.001$ ,  $p < 0.001$ ) (рис. 1).

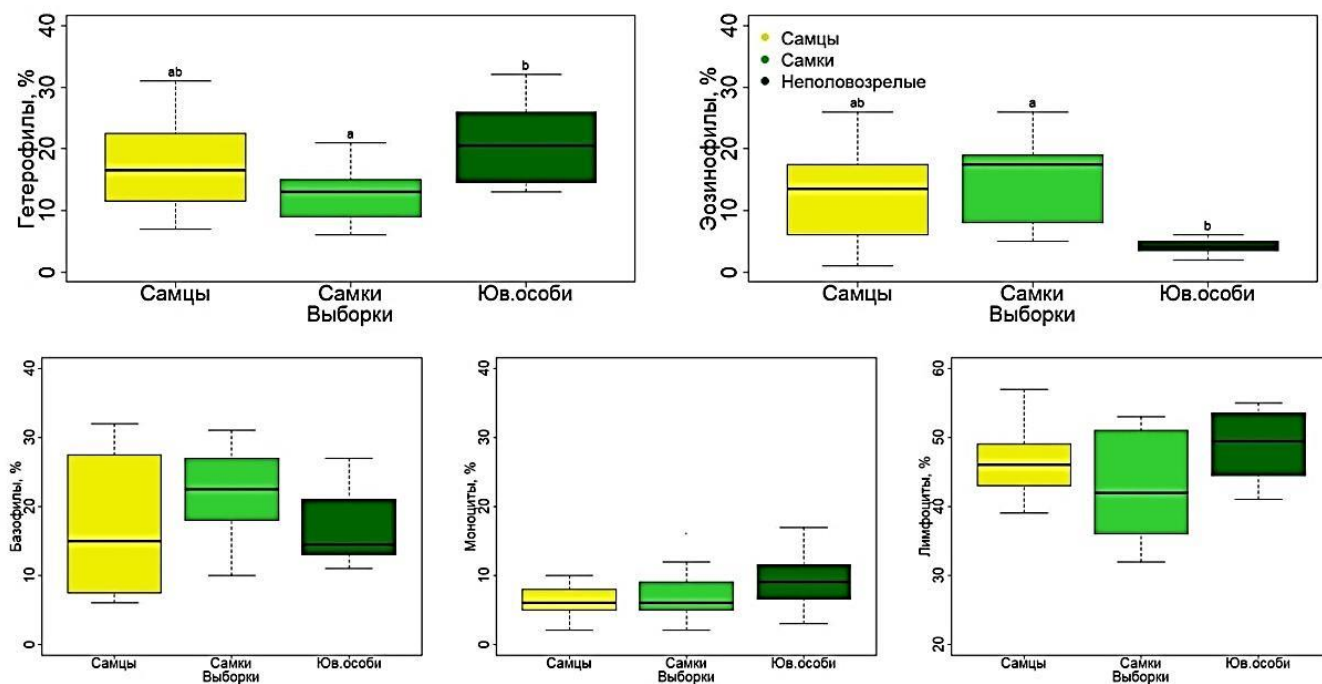
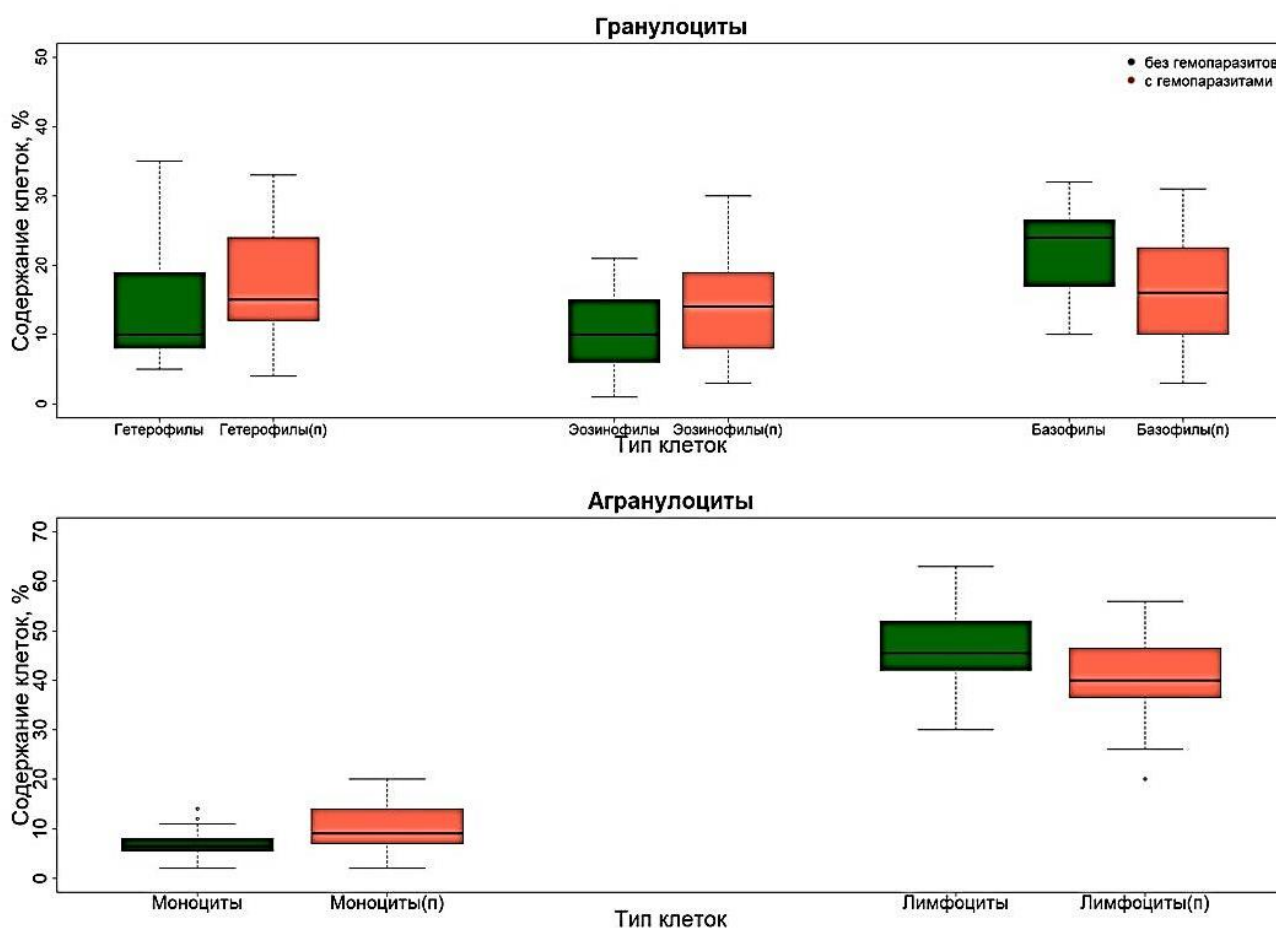


Рис. 1. Диаграммы размахов показателей лейкоцитарных профилей болотных черепах Айтуарской степи (ГПЗ «Оренбургский»).

Выявлены различия в долевого составе гранулоцитов самок и молодых особей болотных черепах. В периферической крови самок *Emys orbicularis* выявлено более высокое содержание эозинофилов ( $D_{2-3}=3.365$ ,  $p = 0.001$ ), и пониженное содержание гетерофилов ( $D_{2-3} = 2.633$ ,  $p = 0.013$ ) по сравнению с неполовозрелыми особями. Самки болотных черепах отличались более низкими показателями ИСЛЭ ( $D_{2-3} = 3.386$ ,  $p=0.002$ ) и ИСГЭ ( $D_{2-3}=3.924$ ,  $p < 0.001$ ) по сравнению с молодыми особями. Кроме того, по сравнению с самцами молодые особи отличались более высоким показателем ИСГЭ ( $D_{1-3} = 2.330$ ,  $p = 0.027$ ).

Для определения значимости влияния фактора зараженности гемогрегаринами были проведены множественные сравнения выборок здоровых и зараженных самок и самцов. Самки, в эритроцитах которых была найдена *Haemogregarina sp.*, отличались более высокой долей гетерофилов ( $z = 2.592$ ,  $p = 0.005$ ), эозинофилов ( $z = 1.984$ ,  $p = 0.024$ ), моноцитов ( $z = 3.563$ ,  $p < 0.001$ ) и пониженной долей базофилов ( $z = 2.935$ ,  $p = 0.002$ ) и лимфоцитов ( $z = 2.956$ ,  $p = 0.002$ ) в периферической крови по сравнению с незараженными самками (рис. 2).



**Рис. 2.** Изменения лейкоцитарного состава крови самок *Emys orbicularis* при наличии в эритроцитах гемопаразитов.

Таким образом, что гематологическая составляющая иммунитета отражала функциональные изменения организма черепах, происходящие в процессе жизнеде-

тельности при инвазии. Установленное возрастание в крови доли эозинофилов черепах можно рассматривать как реакцию на паразитарную инфекцию, а увеличение содержания гетерофилов как составную реакцию на комплекс стрессовых факторов среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Васильев Д. Б.* Ветеринарная герпетология. М.: АквариумПринт, 2016. 420 с.
- Coico R.* Immunology. A short course. Hoboken, NY: WileyLiss Publications, 2003. 237 p.
- Davis A. K., Maney J. C., Maerz D. L.* The use of Leukocyte Profiles to Measure Stress in Vertebrates: a Review for Ecologists // *Functional Ecology*, 2008. V. 22. P. 760–772.
- Metin K., Turkozan O., Kargin F., Basimoglu Koca Y., Taşkavak E., Koca, S.* Blood cell morphology and plasma biochemistry of the captive European Pond Turtle (*Emys orbicularis*) // *Acta Vet. Brno.*, 2006. V. 75. P. 49–55.
- Perpinan D., Sanchez C.* Morphologic and Cytochemical Characteristics of Blood Cells from the European Pond Turtle (*Emys orbicularis*) and the Mediterranean Pond Turtle (*Mauremys leprosa*) // *Journal of Herpetological Medicine and Surgery*, 2009. V. 4. P.119–127.

### **ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ МАЛОГО ЧЁРНОГО ХРУЩАКА *TRIBOLIUM DESTRUCTOR* УУТТ. И БЛИЗКИХ К НЕМУ ВИДОВ В СВЯЗИ С ФИТОСАНИТАРНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ СТРАН-ИМПОРТЁРОВ РОССИЙСКОГО ЗЕРНА**

**Н. М. Стрюкова, В. Э. Глебов**

Южный филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский центр карантина растений», Симферополь  
E-mail: [stryukovanata@mail.ru](mailto:stryukovanata@mail.ru)

Экспортный потенциал Российской Федерации как поставщика зерновой продукции на мировом рынке значителен. В 2022 году в топ стран импортёров российской зерновой продукции входили: Турция, Египет, Казахстан, Саудовская Аравия, Алжир, Пакистан, Ливия, Латвия, Азербайджан и Ливан. Эти и другие страны, покупающие российское зерно, в свою очередь выдвигают фитосанитарные требования к качеству продукции. В период хранения зерно и продукты его переработки ежегодно повреждаются различными насекомыми и клещами. К вредителям запаса относятся также малый чёрный хрущак *Tribolium destructor* и морфологически близкие к нему виды. Учитывая фитосанитарные требования стран – импортёров российской зерновой продукции, выявление хрущачков в ней может привести к принятию соответствующих карантинных фитосанитарных мер и повлиять на снижение экспортного потенциала страны.

По данным сайта таможенной статистики внешней торговли (<https://www.customsonline.ru>), в 2019–2022 годах (с 01.01.2019 г. по 31 июля 2022 г.) объемы экспорта зерновой злаковой продукции (коды ТН ВЭД 1001, 1002, 1003, 1004, 1005, 1006, 1007, 1008) составили 132 861 645.5 тонн; продукции мукомольно-крупяной промышленности (коды ТН ВЭД 1101, 1102, 1103, 1104) – 1 546 531.8 тонн и фруктов сушеных, кроме плодов товарных позиций 0801 – 0806; смеси орехов или сушеных плодов данной группы (код товарной позиции ТН ВЭД – 0813) – 6 342.7 тонн.

*T. destructor* в экспортируемой из Российской Федерации растениеводческой продукции, в т.ч. зерне и продуктах его переработки, регулируется фитосанитарными требованиями ряда стран-импортеров: Китая, Ирака, Индии, Камбоджи и Зимбабве. *T. destructor* – один из самых обычных вредителей муки и зерновых продуктов в домах и на складах. Личинки и жуки выделяют пахучие вещества, которые придают неприятный запах поврежденным продуктам (<https://www.zin.ru>). Может повреждать душистый перец, трикотажные и капроновые изделия (Васильев, 1987). Помимо продуктов часто повреждают энтомологические коллекции.

По результатам данных лабораторий ФГБУ «ВНИИКР» в исследуемой продукции в 2021 году был ряд выявлений хрущаков рода *Tribolium*: *T. destructor* – 5 случаев (на территории Хабаровского края и ЕАО); *T. castaneum* – 54 случая (в различных регионах) и *T. confusum* – 152 случая (в различных регионах).

В связи с тем, что Российская Федерация является одним из главных поставщиков на мировой рынок зерновой продукции, в которой регулярно происходят выявления хрущаков рода *Tribolium*, разработка данной темы является актуальной и своевременной. Важно отметить, что на исследование могут поступать деформированные образцы насекомых или их фрагменты, поэтому необходим поиск и привлечение новых стабильных признаков для надежной идентификации видов внутри рода *Tribolium*.

Основой исследования послужил энтомологический материал, любезно предоставленный нашими коллегами С. А. Курбатовым, П. А. Яковлевым и С. Ю. Безугловой, за что мы им сердечно признательны.

Фиксацию жуков проводили 70% этанолом. Детали строения (морфологию антенн, ротового аппарата, конечностей и др. частей тела) изучали с помощью стереомикроскопа Stemi 2000 и многофункционального лабораторного микроскопа Olympus BX 53 с мегапиксельной цветной камерой Olympus SC 180 путём изготовления временных микропрепаратов, предварительно фиксируя материал в жидкости Фора-Берлезе. Размягчали сухих жуков в 10%-ном растворе КОН с последующим промыванием их водой.

С сельскохозяйственной продукцией наиболее связаны четыре вида хрущаков рода *Tribolium* (Coleoptera: Tenebrionidae: Triboliini): *T. (Tribolium) madens* (Charpentier, 1825), *T. (Tribolium) castaneum* (Herbst, 1797), *T. (Eusemostene) confusum* Jacquelin du Val, 1868 и *T. (Eusemostene) destructor* Uyttenboogaart, 1933 (Halstead,

1967). В ходе исследований нами были апробированы определительные ключи. На основе изготовленных временных микропрепаратов изучены основные морфологические признаки *T. destructor* и близких к нему видов, связанных с зерновой продукцией (рис.).



Малый чёрный хрущак *T. destructor*.

В ходе исследований нами отмечены основные признаки, отличающие *T. destructor* от морфологически близких видов: булава усика не выражена, 4–5 последних членика усика постепенно утолщаются к вершине; на голове есть небольшой киль у внутреннего края глаза; боковые края темени приподняты и образуют над глазом ясную килевидную складку «бровь»; глаза небольшие, расстояние глазами снизу головы по нашим наблюдениям занимает менее 2-х диаметров глаза; количество фасеток в непрорезанной части глаз – 1–2; количество щетинок у основания челюстных щупиков на нижней челюсти – 5–6; наружный край передней голени в верхней трети с небольшими зубцами, направленными вперёд; на нижнем крае бедра нет щётки волосков; скульптура головы и переднеспинки выражена в виде крупной равномерной пунктировки; субментум нижней губы имеет гладкую скульптуру; передние углы переднеспинки заметно выступают вперёд и более заострены, чем у близких видов.

#### ЛИТЕРАТУРА

Таможенная статистика внешней торговли Российской Федерации: база данных (БД) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://customsonline.ru/search\\_ts.html](https://customsonline.ru/search_ts.html) (дата обращения 03.11.2022).

Вредители сельскохозяйственных культур и лесных насаждений: Том 1 Вредные нематоды, моллюски, членистоногие / Под общ. ред. акад. В. П. Васильева. Киев: Урожай, 1987. 440 с..

Жуки (Coleoptera) и колеоптерологи [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/tridesfs.htm>.

*Halstead D. G. H.* Notes on the systematics and distribution of some species (Coleoptera: Tenebrionidae) // J. Stored Prod. Res., 1967. № 3. P. 269–272.

## ПОЧВЕННЫЕ МИКРОАРТРОПОДЫ В ПЕРВЫЙ И ВТОРОЙ ГОД ПОСЛЕ РУБКИ ЕЛЬНИКА ЧЕРНИЧНОГО

**А. А. Фатеева**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар  
E-mail: [fateeva@ib.komisc.ru](mailto:fateeva@ib.komisc.ru)

Вырубка северных лесов в течение XX века привела к трансформации таежных экосистем в специфические комплексы антропогенных фитоценозов, что вызвано сменой хвойных пород лиственными (Пристова, 2019). В настоящее время изучены динамика лесовосстановительных процессов, состав и структура древостоя и напочвенного покрова, биологический круговорот веществ, особенности формирования подстилки, микробный комплекс лиственных насаждений Республики Коми (Пристова, 2019). Известно, что заготовка древесины приводит к значительному изменению растительного покрова и преобразованию почв ненарушенных экосистем в антропогенные (Richter, 2012). Вопросы восстановления сообществ почвенных беспозвоночных на рубках, а тем более, в первые годы после рубки, изучены в меньшей степени.

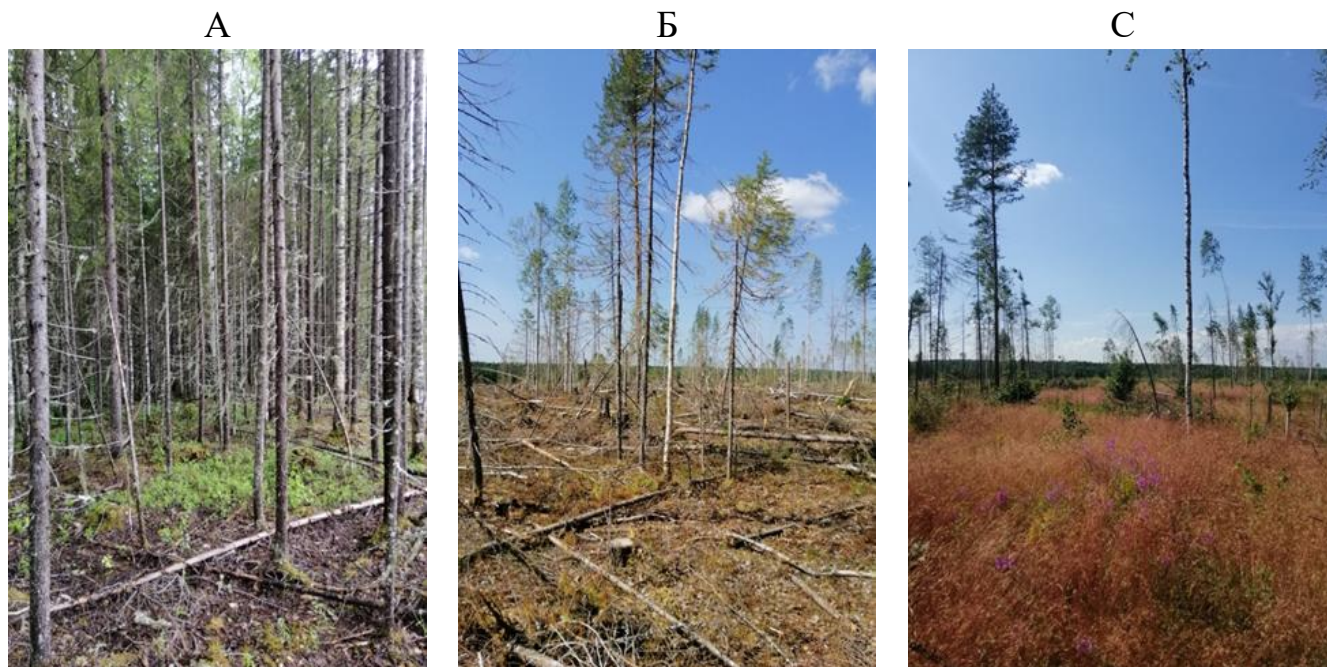
Исследования почвенной фауны признаны приоритетными при оценке качества почв, из-за проблем, связанных с их деградацией. Почвенные беспозвоночные выполняют важную роль, участвуя в потоках органического вещества и энергии, рециркуляции питательных веществ, контроле активности микрофлоры и развитии структуры почвы. Микроартроподы очень чувствительны к природным и антропогенным воздействиям и часто используются для оценки качества почвы. Индикаторные группы микроартропод (*Oribatida*, *Collembola*), являясь наиболее многочисленными группами беспозвоночных в почвах естественных биоценозов таежной и тундровой зон (Мелехина, 2008), представляют особый интерес при исследовании влияния антропогенных факторов на почвы.

Более подробно изучены процессы восстановления отдельных групп беспозвоночных на разных этапах сукцессии (как правило, от 5 до 20 лет, и более), но работ, оценивающих «моментальную» реакцию почвенных беспозвоночных, непосредственно в первые годы после проведения сплошной рубки крайне мало (Malmström et al., 2009). Поэтому целью исследования является изучение влияния сплошной



рубки, а именно воздействия тяжелой агрегатной техники на численность почвенных микроартропод в первый и второй год после её проведения.

Исследования проводили на модельной вырубке 2020 года, расположенной в Сыктывдинском районе Республики Коми (N 61° 54.981', E 050° 32.376'). Тип исследуемого леса до рубки – ельник чернично-зеленомошный, с редким включением молодых сосен (рис. 1А).



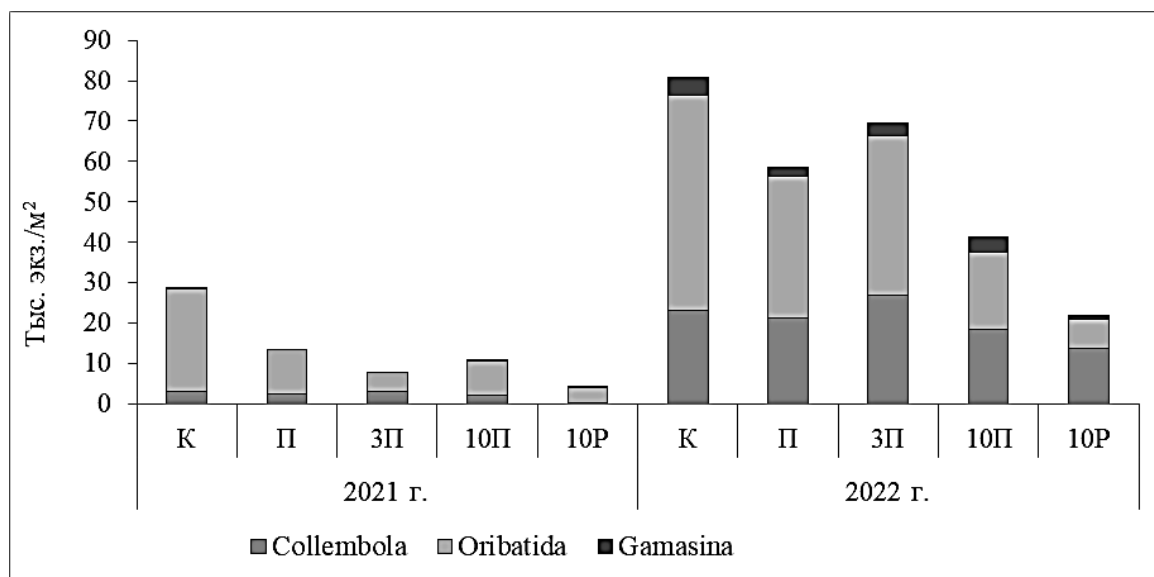
**Рис. 1.** Фотографии исследуемых участков: А – контроль, Б – в первый год после рубки, июнь 2021 г., С – на второй год после рубки, июнь 2022 г.

Отбор почвенных образцов размером 5x5x5 см проводили в 2021 и 2022 гг. в контрольном ельнике чернично-зеленомошном (К), на пасеке (П), волоках с тремя (3П) и десятью (10П) проходами техники, рекультивируемом волоке с 10 проходами техники и последующей вспашкой этого участка (10Р). На волоках 3П и 10П пробы отбирали с обочины, колеи и гривы, на волоке 10Р – с двух обочин и в центре. Одновременно при отборе проб измеряли температуру подстилки с помощью электронного транзисторного цифрового термометра. В лабораторных условиях: определяли относительную влажность почвы при помощи весового метода, осуществляли выгонку микроартропод из субстрата на эклекторах. Далее проводили идентификацию таксонов беспозвоночных, подсчитывали численность различных групп микроартропод. Достоверность различий оценивали при помощи критерия Манна–Уитни (при  $p < 0.05$ ). Статистическую обработку результатов проводили в программе Microsoft Office Excel 7.0, Statistica 12 и PAST 4.0.

В результате исследования выявлено, что температура верхних почвенных горизонтов на технологических площадках существенно не различалась в первые два года после рубки леса. Относительная влажность верхних горизонтов была ниже на рекультивируемом волоке в 2021 и 2022 гг. Известно, что почвы вырубок несколько

теплее лесных почв (Дымов, 2017), при этом для нарушенных почв характерно увеличение суточной амплитуды колебаний температур, а на волоке 10Р это проявляется несколько сильнее, чем на площадках П, 3П и 10П.

Данные по численности микроартропод (рис. 2) указывают на то, что на второй год после сплошной рубки этот показатель возрастает на контрольном участке (К) в 2.5 раза, на пасеке (П) – в 4.4, на волоках 3П, 10П и 10Р – в 8.8, 4.8 и 5.2 раза соответственно ( $U$  test;  $p < 0.05$ ). В 2021 г. на всех технологических площадках отмечено численное преобладание орибатид, в 2022 г. эта тенденция сохраняется, за исключением рекультивируемого волока (10Р), где численность коллембол возрастает. Считается, что температура воздуха, характер растительного опада, тип почвы, ее гидротермический режим, динамика численности микробиоты и мезофауны – те факторы, которые определяют характер сезонных изменений численности микроартропод (Таскаева, 2015).

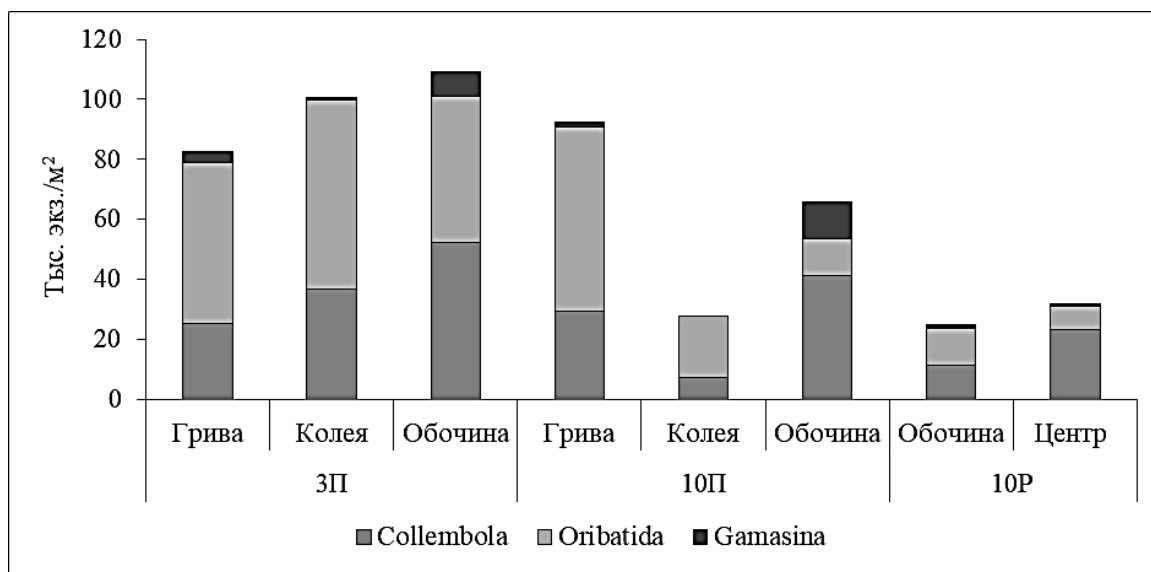


**Рис. 2.** Средняя численность (N) микроартропод на технологических площадках (К – контроль, П – пасека, 3П – волок с тремя проходами, 10П – волок с 10 проходами техники, 10Р – волок с 10 проходами и последующим выравниванием), июнь 2021 и 2022 гг.

На пасеках, как наименее нарушенных технологических площадках, восстановление численности микроартропод определяется сохранностью травяно-кустарничкового яруса и лесной подстилки. На волоках четко прослеживается тенденция снижения их численности от волока с тремя проходами техники (3П) к волоку с десятью проходами (10П) и рекультивируемому волоку (10Р) ( $U$  test;  $p < 0.05$ ) (рис. 3).

На волоках, где воздействие техники существенно, важным условием является сохранение микростаций, где микроартроподы могут существовать в наиболее оптимальных для них условиях. Эти микростации приурочены к элементам волока, отличающимся по степени нарушенности. Так, травяно-моховой покров визуально наиболее сохранен на обочине волока, далее по степени сохранения верхнего горизонта сле-

дует участок между колеями – грива, и самые визуально нарушенные участки – колеи, которые максимально подвергались воздействию колесной техники. На волоке 10Р, из-за вспашки такие элементы, как грива и колеи не определялись. Лучше травяно-кустарничковый ярус сохраняется по обочинам волоков, и именно здесь отмечено снижение численности микроартропод в ряду волоков 3П – 10П – 10Р (рис. 3). Численность микроартропод на гриве волоков 3П и 10П примерно одинаковая, этот показатель значимо ниже в колее волока 10П, чем в аналогичной микростации волока 3П ( $U$  test;  $p < 0.05$ ).



**Рис. 3.** Средняя численность ( $N$ , тыс. экз./м<sup>2</sup>) микроартропод в микростациях технологических площадок (3П – волок с тремя проходами, 10П – волок с 10 проходами техники, 10Р – волок с 10 проходами и последующим выравниванием), июнь 2022 г.

Таким образом, в 2021 г. численность микроартропод на всех технологических площадках ниже в два – четыре раза относительно контрольного ельника, а в 2022 г. этот показатель на площадках П и 3П соответствует таковому на контрольном участке, а на волоках 10П и 10Р – ниже в два и четыре раза соответственно. На всех участках общая численность микроартропод на второй год возрастает относительно первого года после рубки. В 2021 и 2022 гг. наблюдается снижение численности микроартропод от контрольных площадок к пасакам, волокам с различным количеством проходов техники, достигая минимальных показателей на рекультивируемом волоке. На волоках, где проход агрегатной техники оказывает дополнительное воздействие на почвенную фауну, микроартроподы сконцентрированы в микростациях с относительно оптимальными условиями существования, что для обочин, возможно, объясняется краевым эффектом. На волоках с десятью проходами техники колеи-ность выражена сильнее, чем на волоках 3П, то есть эффект «вытаптывания» колесной техникой значимее, вероятно, поэтому численность микроартропод в колее волока 10П почти в пять-шесть раз ниже, чем в аналогичной микростации волока 3П. На

рекультивируемых волоках, для которых характерна существенная турбация почвенных горизонтов при вспашке, численность микроартропод низка как в центре волока, так и по его обочинам, что указывает на весомый вред, наносимый агрегатной техникой при многократных манипуляциях при заготовке древесины. Выявленные изменения численности почвенных микроартропод в первый и второй год после рубки леса могут быть применены в системе мониторинга за состоянием почв и их биоты в таежной зоне.

*Автор выражает благодарность за ценные рекомендации к.б.н., доценту А. А. Дити, к.б.н. А. А. Таскаевой, за помощь в сборе образцов почв – к.б.н. Т. Н. Конаковой.*

*Исследование проведено при поддержке гранта РНФ № 23-24-00530 «Биоразнообразие и функционирование почвенной фауны в сукцессионном ряду вырубок среднетаежных лесов европейской части России».*

#### ЛИТЕРАТУРА

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

*Мелехина Е. Н.* Микроартроподы в почвах, рекультивированных после нефтяного загрязнения // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2008. № 3. С. 27–30.

*Пристова Т. А.* Динамика древесной растительности в лиственных насаждениях послерубочного происхождения (подзона средней тайги Республики Коми) // Принципы экологии, 2019. Т. 8. № 3. С. 63–73.

*Таскаева А. А.* Особенности структуры населения коллембол (Hexapoda) лесных почв (Республика Коми, средняя тайга) // Вестник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2015. № 5. С. 14–18.

*Richter D. B., Yaalon D. H.* «The changing model of soil» revisited // Soil Science Society of America Journal, 2012. Т. 76. № 3. С. 766–778.

*Malmström A., Persson T., Ahlström R., Gondalsky K., Bengtsson J.* Dynamics of soil meso- and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest // Applied Soil Ecology, 2009. V. 43. № 1. С. 61–74.

**Секция 3**

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
И АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ**

---

**ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОЙ ДИГРЕССИИ  
ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ В РАЙОНЕ  
ЯЛТИНСКОГО ГОРНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА**

**И. Е. Алексеева, А. М. Бессонова**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

E-mail: [i.alekseeva192020@gmail.com](mailto:i.alekseeva192020@gmail.com), [bessonova\\_ann@211.ru](mailto:bessonova_ann@211.ru)

В процессе сукцессии под влиянием рекреационного использования в сообществе проходит ряд характерных состояний, что дает возможность выделить отдельные стадии рекреационной дигрессии.

Цель работы – оценка рекреационной дигрессии природно-территориальных комплексов (ПТК) в районе основных экологических троп Ялтинского горно-лесного заповедника.

Полевые работы на территории Ялтинского горно-лесного заповедника были проведены в июле 2022 года на участках, прилегающих непосредственно к городу Ялта. Точки наблюдения (т.н.) располагались на экологических тропах Боткинская, Штангеевская и Ставрикайская. Также были проложены два профиля, перпендикулярных Бахчисарайскому шоссе, которое пересекает территорию заповедника.

Для оценки рекреационной дигрессии использовалась методика Н.С. Казанской, согласно которой выделяется 5 стадий дигрессии (Казанская, 1977). Оценка нарушенности ПТК предусматривает анализ состояния различных компонентов: 1. Характеристика растительного покрова (общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса; количество видов сосудистых растений; соотношение коренных и синантропных видов; состояние подроста; жизненность растений); 2. Характеристика почвенного покрова (мощность подстилки, степень разложения и состояние подстилки); 3. Степень обустроенности территории (наличие дорожной сети, виды дорог; густота тропинойной сети, степень вытоптанности; наличие инфраструктуры, замусоренность, характер жилой застройки). Каждый компонент оцени-

вался с помощью системы баллов от 1 до 5, после чего проводился расчет среднего арифметического значения стадии дигрессии. Результаты оценки рекреационной дигрессии представлены в таблице.

Таблица

## Стадии дигрессии ПТК на территории Ялтинского горно-лесного заповедника

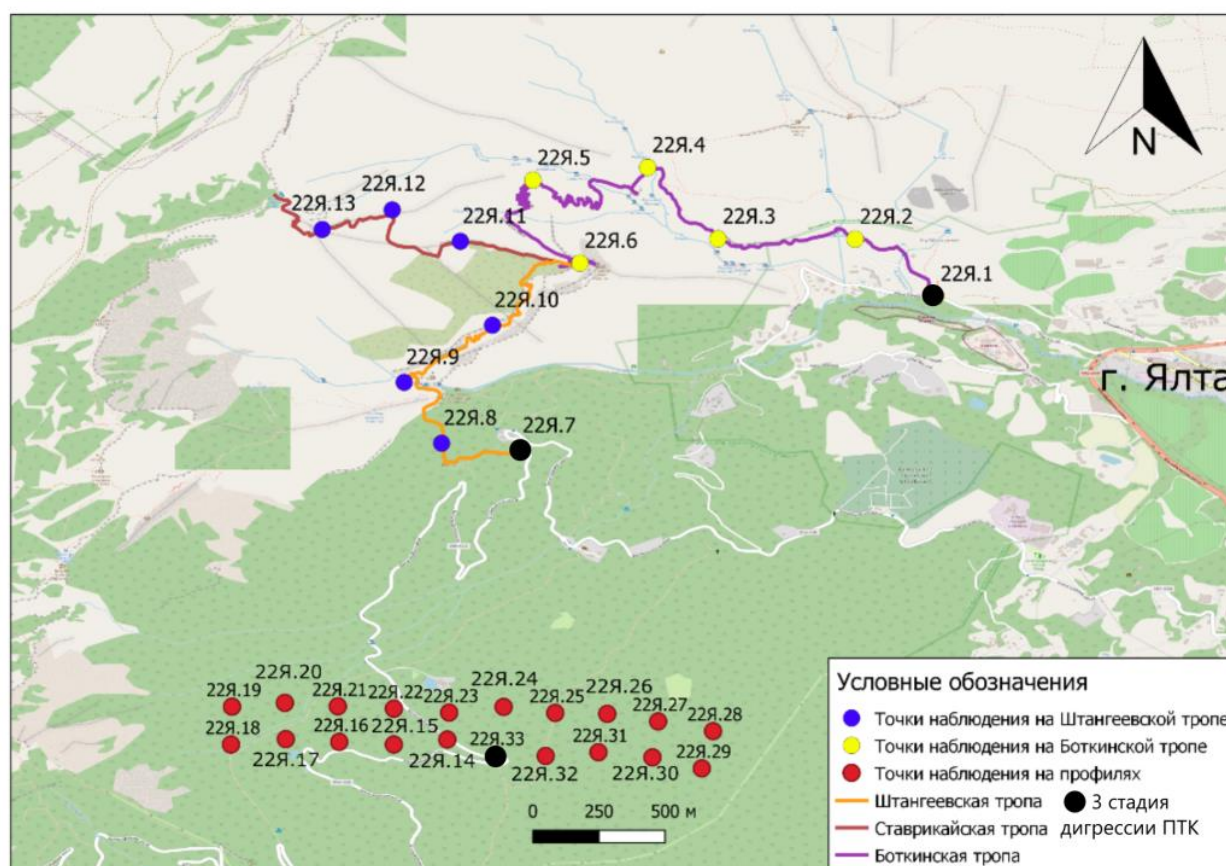
№ т.н.	ПТК	Стадия дигрессии	№ т.н.	ПТК	Стадия дигрессии
1	Ясеновое просвирниково-яснотковое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне южной экспозиции	3	18	Кленово-сосновое первоцветно-кульбабово-орляковое зеленомошное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2
2	Сосновое вязелево-плющевое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне южной экспозиции	2	19	Липово-сосновое малочайно-пионовое зеленомошное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2
3	Кленово-сосновое игличное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне южной экспозиции	2	20	Кленово-буковое пионовое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2
4	Сосновое плющевомалочайное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне южной экспозиции	2	21	Ясене-тисовое ландышево-первоцветно-эгонихоновое зеленомошное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне восточной экспозиции	2
5	Сосновое вздутосемянниково-пролесниково-бедренецеевое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северной экспозиции	2	22	Липово-сосновое ландышевое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2
6	Сосновое девясиллово-пузырниковое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне восточной экспозиции (вершина)	2	23	Кленово-ясеновое пионово-малочайное зеленомошное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне западной экспозиции	2
7	Кленово-сосновое подмаренниково-фиалково-молочайно-плющевое зеленомошное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	3	24	Ясене-кленовое пионово-ястребинковое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2

№ т.н.	ПТК	Стадия дигрессии	№ т.н.	ПТК	Стадия дигрессии
8	Кленово-дубовое ландышево-подмаренниковое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне восточной экспозиции	2	25	Дубово-сосновое горошково-мятликовое зеленомошное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2
9	Кленово-сосновое подмаренниково-золотарниково-вязелево-плющевое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне южной экспозиции	2	26	Сосново-дубовое мятликовое зеленомошное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северной экспозиции	2
10	Дубово-можжевельниковое скердово-ежово-осотово-вязелевое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне южной экспозиции	2	27	Дубовое чиново-мятликовое зеленомошное сообщество на коричневых почвах в овраге	2
11	Сосновое девясилowo-ястребинково-эгонихово-первоцветное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне восточной экспозиции	2	28	Кленовое фиалково-плющевовздутосемянниковое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северной экспозиции	2
12	Сосновое мордовниково-бедренецево-пролесниковое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2	29	Дубово-сосновое горошково-мятликовое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северной экспозиции	2
13	Кленово-сосновое фиалково-купеновое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне южной экспозиции	2	30	Дубово-сосновое пионовое зеленомошное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2
14	Сосново-кленовое фиалково-плющевое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2	31	Дубово-сосновое малочайнопионовое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2
15	Кленово-ясеневое первоцветное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2	32	Дубово-сосновое ландышево-малочайное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северной экспозиции	2

Окончание таблицы

№ т.н.	ПТК	Стадия дигрессии	№ т.н.	ПТК	Стадия дигрессии
16	Буково-тисовое эгонихоново-купеновое зеленомошное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северной экспозиции	2	33	Сосново-кленовое плющево-малочайное сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	3
17	Кленово-сосновое ландышево-эгонихоновое сообщество на коричневых почвах на каменистом склоне северо-восточной экспозиции	2			

Наибольшее число ПТК исследуемой территории находятся на 2 стадии дигрессии за исключением т.н. №1, №7 и №33, состояние которых соответствует 3 стадии. Данные точки отмечены на карте-схеме (рис.) черным цветом.



Карта-схема точек наблюдения

Согласно Казанской с соавторами 2 стадия дигрессии характеризуется следующими параметрами: характерно незначительное изменение лесной среды; начинается вытаптывание подстилки, намечается тропиночная сеть (не более 5% площади



сообщества), в пологе леса появляются более светолюбивые виды. Для 3 стадии характерно: в травянистом покрове появляются луговые и сорные виды, разнообразие видов в подросте уменьшается, тропиочная сеть становится гуще (10-15% площади), мощность подстилки уменьшается. ПТК, находящиеся на 3 стадии дигрессии, расположены на участках, подверженных наибольшей рекреационной и антропогенной нагрузке. Данные ПТК располагаются в начале Боткинской и Штангеевской экологических троп, а также вблизи автомобильных дорог, проходящих по территории заповедника.

На исследуемой территории Ялтинского горно-лесного заповедника наблюдаются 2 и 3 стадии дигрессии ПТК. 3 стадия наблюдается на точках наблюдения 1, 7 и 33, расположенных в начале Боткинской экологической тропы, Штангеевской тропы и вблизи Бахчисарайского шоссе соответственно, что говорит о наличии рекреационной и антропогенной нагрузки на данных участках. На остальных точках наблюдения отмечена 2 стадия дигрессии, характеризующаяся незначительными изменениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Казанская Н. С., Ланин В. В., Марфенин Н. Н.* Рекреационные леса. М.: Лесная промышленность, 1977. 96 с.

### **ЗООПЛАНКТОН КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА ВАРВАРИНСКОЕ (БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ ОСТРОВ)**

**М. И. Болотов, Е. И. Собко**

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск

E-mail: [mbollotov@gmail.com](mailto:mbollotov@gmail.com)

Зоопланктон – важный функциональный элемент водных биоценозов. Таксономическая структура и количественные характеристики зоопланктона хорошо отражают изменения, происходящие в водных экосистемах, под действием природных и антропогенных факторов и могут быть использованы для мониторинга и оценки экологического состояния водных экосистем (Андроникова, 1996; Китаев, 2007).

В июле-августе 2021 года были проведены исследования экологического состояния озера Варваринское. Озеро находится на территории Большого Соловецкого острова (65°05'с.ш., 35°73'в.д.). Площадь водоема – 0.093 км<sup>2</sup>. Водоем имеет реликтовое происхождение и в прошлом являлось частью Белого моря, отделившись от него в результате подъема рельефа. В настоящее время озеро Варваринское нахо-

дится на 8.4 м выше уровня моря. Для водоема характерны застойные явления, с 3 м начинается анаэробная зона.

Отбор и обработка проб проводились с использованием стандартных гидробиологических методов и соответствующих определителей (Абакумов, 1983; Алексеев и др., 2010). Для оценки состояния экосистемы озера по показателям зоопланктона определялись: видовой состав, число видов, виды доминанты, средняя индивидуальная масса гидробионтов ( $W_{ср.}$ ), общая численность ( $N$ ) и биомасса ( $B$ ) зоопланктона, а также количественные характеристики отдельных групп зоопланктона (Copepoda, Cladocera, Rotifera), оценивался их вклад в общую численность и биомассу, выраженный в процентах. Для выявления степени разнообразия и устойчивости структуры сообществ зоопланктона был использован индекс Шеннона-Уивера ( $H$ ), рассчитанный по численности, для характеристики выравненности видов в сообществе использовали индекс Пиелу ( $E$ ). Для определения качества воды вычислялся индекс сапробности Пантле и Букка в модификации Сладечека (Шабанов, 2015)

Таксономическая структура озера Варваринское представлена 20 видами зоопланктона. Rotifera (коловратки) в зооценозах представлены 12 видами, Cladocera (ветвистоусые ракообразные) – 3 видами и Copepoda (веслоногие ракообразные) – 5 видами. Зоопланктонный комплекс типичен для холодноводных водоёмов северных широт. По зоогеографическому районированию зооценозы преимущественно состояли из видов, имеющих палеарктическое (39%), космополитное (32%) и голарктическое (29%) распространение. По экологической характеристике большинство видов относились к эвритопным (55% от общего количества) и типичным планктонным (36% от общего количества) организмам, так же в зооценозе присутствовали фитофильные, литоральные и бентосные виды.

Группа Rotifera, в основном, определяла структуру планктонного сообщества. Доминировали такие виды, как *Keratella cochlearis* Gosse, 1851, *Keratella quadrata* Müller, 1786, *Filinia longiseta* Ehrenberg, 1834 и *Lecane luna* Müller, 1776.

По численности в зоопланктонных сообществах озера Варваринское доминировали Rotifera (94% от общей численности), по биомассе – Copepoda (57% от общей биомассы). Средние значения численности и биомассы зоопланктона составляли 182.3 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0.19 г/м<sup>3</sup>. Невысокие значения общей биомассы зоопланктона, уменьшение средней индивидуальной массы гидробионтов связано с преобладанием коловраток в зооценозе.

Средние значения индекса видового разнообразия для озера Варваринское составляли 2.09 бит/экз. Качество водных масс на протяжении периода исследований соответствовало β-мезосапробной зоне (умеренно загрязненные воды, III класс чистоты).

Анализ полученных данных с результатами исследований, проведенных в 60-х годах прошлого века, показал, что в экосистеме озера Варваринское произошли значительные изменения, а именно – трансформации зоопланктонного сообщества (Новосельцева, Русакова, 1972). Ранее доминирующую группу Cladocera, сменила груп-

па Rotifera. В составе сообщества обнаружены виды-индикаторы эвтрофированных вод – *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Filinia longiseta*, *Brachionus quadridentatus* Hermann, 1783, *Polyarthra vulgaris* Carlin, 1943 и *Cyclops strenuous* Sars, 1903.

Таким образом, за последние полвека экосистема озера Варваринское претерпела изменения, прежде всего это отражается в перестройке структуры зоопланктонного сообщества водоема, выраженной в смене доминирующих групп, появлении видов-индикаторов эвтрофированных вод, повышении численности Rotifera и уменьшении численности Crustacean (Cladocera, Copepoda).

#### ЛИТЕРАТУРА

Абакумов В. А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений // Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

Алексеев В. Р., Глаголев С. М., Добрынина Т. И., Котов А. А., Кутикова Л. А., Мазей Ю. А., Малявин С. А., Наумова Е. Ю., Синев А. Ю., Смирнов Н. Н., Степанова Л. А., Стойко Т. Г., Сухих Н. М., Телеш И. В., Фефилова Е. Б., Фильчаков В. А. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010. 495 с.

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 190 с.

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2007. 395 с.

Новосельцева Р. И., Русакова С. А. Зоопланктон озер Большого Соловецкого острова // Соловецкие озера (материалы по комплексному изучению): Труды СевНИОРХ. Петрозаводск, 1972. Т. 6. С. 4566.

Шабанов В. В. Ведение мониторинга водных объектов в современных условиях. М: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, 2015. 151 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В ПЛОДАХ РАЗНЫХ ВИДОВ РОДА *SORBUS* ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**Н. Э. Вебер, И. В. Груздев, О. В. Скроцкая**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [veber.n@ib.komisc.ru](mailto:veber.n@ib.komisc.ru)

Виды рода *Sorbus* L. (рябина) – древесные растения, произрастающие в Северном полушарии. Благодаря высокой экологической пластичности, многие виды рябины удается культивировать в условиях Севера. Плоды рябины содержат уникаль-

ный комплекс биологически активных веществ, пригодных для использования, как в лечебных, так и в профилактических целях (Скροцкая, Пунегов, 2021).

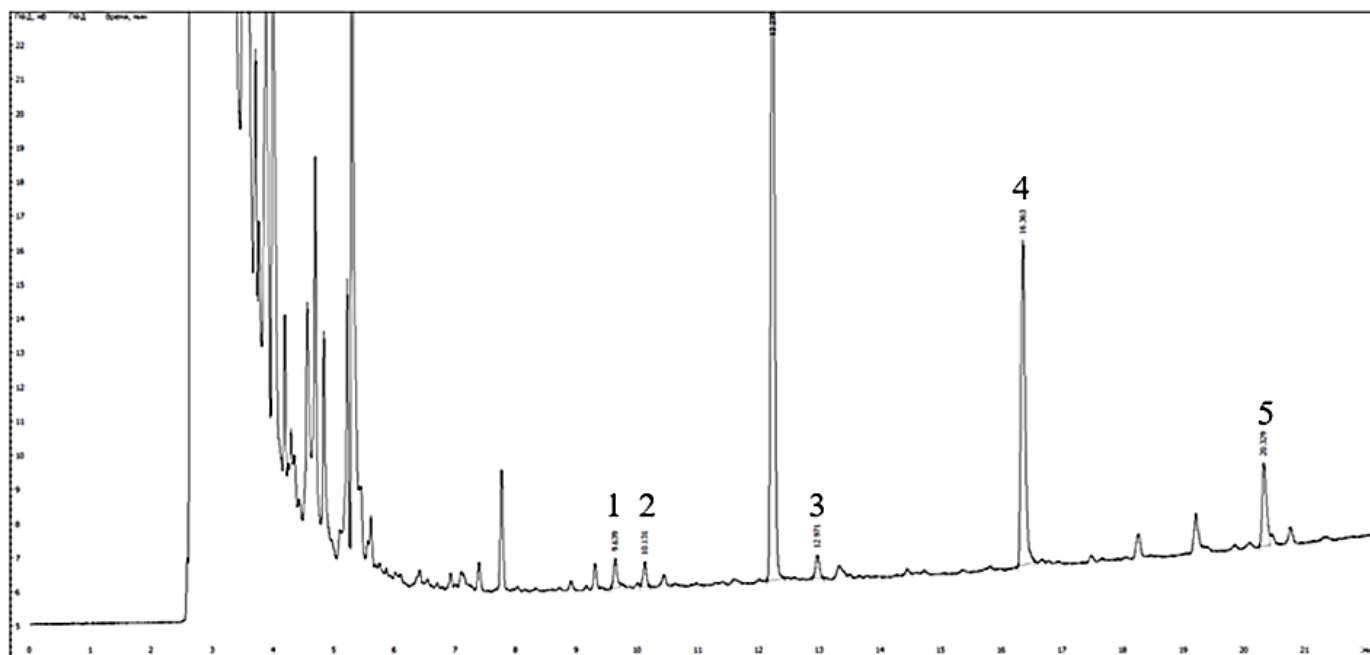
К важнейшим органическим кислотам растений относятся жирные и фенольные кислоты. Некоторые из них, такие как линолевая и линоленовая кислоты в организме человека не синтезируются и могут поступать только с пищей. Так, *омега-3* и *омега-6* кислоты способствуют укреплению иммунитета, отвечают за рост и поддержание сосудистого тонуса, регулируют свертываемость крови. Основным источником поступления в организм *омега*-кислот являются липиды, как правило, растительного происхождения (Siddiqui et al., 2004).

Фенольные кислоты придают окраску плодам, участвуют в регуляции роста и развития растений, защищают их от стрессовых воздействий. Соединения этого класса встречаются в большинстве лекарственных растений, проявляют противовирусную и противовоспалительную активность, поэтому широко применяются в медицине и фармакологии (Елин, 2001).

Цель исследования – разработка методики количественного определения содержания органических кислот в плодах рябины методом газовой хроматографии.

В качестве объекта исследования выбраны разные виды рода *Sorbus* из коллекции Ботанического сада ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (УНУ «Научная коллекция живых растений», № 507428).

В плодах рода *Sorbus* методом хромато-масс-спектрометрии были идентифицированы 12 жирных кислот (7 насыщенных и 5 ненасыщенных), а также пять ароматических кислот, относящихся к классу фенольных соединений (рис. 1).



**Рис. 1.** Хроматограмма фенольных кислот: 4-гидроксibenзойная кислота (1), 2-гидроксibenзойная кислота (2), 4-гидрокси-3-метокси-бензойная кислота (3), 4-гидроксикоричная кислота (4), 4-гидрокси-3-метокси-коричная кислота (5).

Для определения органических кислот в плодах растений, нами разработана методика, предполагающая извлечение, химическую модификацию, разделение и детектирование полученных производных исследуемых кислот методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором. Методика позволяет полностью отделить в процессе подготовки растительного образца к анализу алифатические (жирные) кислоты от фенольных соединений, что значительно повышает как селективность, так и чувствительность определения целевых компонентов.

Проведена оптимизация извлечения кислот из растительного образца по следующим параметрам: тип экстрагента, соотношение масса образца/масса экстрагента и продолжительности экстрагирования. Для извлечения кислот рекомендовано механическое перемешивание растительного образца в среде метанола в течение 3040 мин.

Разработанная методика была применена для оценки содержания органических кислот в плодах тринадцати видов рода *Sorbus*. В плодах всех видов преобладают ненасыщенные жирные кислоты – прежде всего линолевая кислота, в чуть меньших количествах – олеиновая и линоленовая кислоты. Среднее содержание этих кислот во всех видах находится на уровне 2 мг/г, исключение составляют плоды вида *austriaca*, где этих кислот в 5 раз меньше (рис. 2).

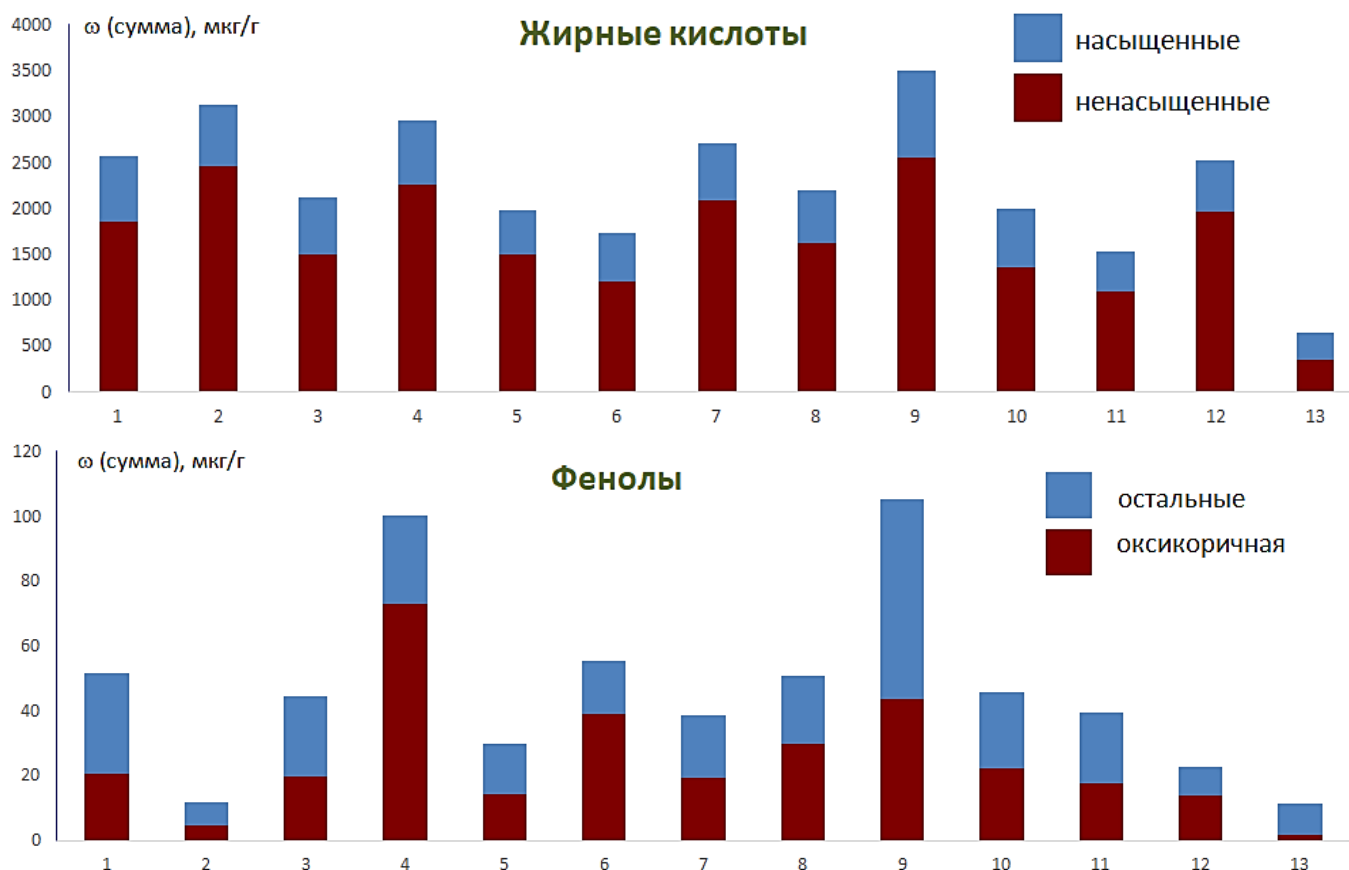


Рис. 2. Содержание жирных кислот и фенолов в плодах 13 видов рода *Sorbus*.

Содержание фенолов в плодах рода *Sorbus* на порядок меньше. Во всех видах преобладает оксикоричная кислота, в меньших количествах содержатся феруловая и салициловая кислоты.

Разработанная методика дает возможность селективного определения жирных кислот и фенолов присутствующих в растительных образцах в интервале содержания 1–1000 мг/г, относительная погрешность 1520%, масса навески образца – 0.1–2 г, общая продолжительность анализа – 4 часа.

#### ЛИТЕРАТУРА

Елин Е. С. Фенольные соединения в биосфере. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской академии наук, 2001. 386 с.

Скроцкая О. В., Пунегов В. В. Содержание каротиноидов в плодах растений видов и сортов рода *Sorbus* L. при интродукции в условиях Севера (Республика Коми) // Самарский научный вестник, 2021. Т. 10. № 3. С. 112–116.

Siddiqui R., Shaikh S., Sech L., Yount H., Stillwell W., Zaloga G. Omega 3-Fatty Acids: Health Benefits and Cellular Mechanisms of Action // Mini-Reviews in Medicinal Chemistry, 2004. Т. 4. № 8. С. 859–871.

### АКВАРИУМНАЯ ФАУНА БЕСПОЗВОНОЧНЫХ КАК ИСТОЧНИК ПОЯВЛЕНИЯ В ВОДОЁМАХ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ

**М. А. Голубев\***, **А. С. Бакашкина\***, **Е. Б. Фефилова\*\***, **М. А. Батурина\*\***

\*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар

E-mail: [maksim.golubev.21@mail.ru](mailto:maksim.golubev.21@mail.ru), [sashabakashkina@gmail.com](mailto:sashabakashkina@gmail.com)

\*\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [fefilova@ib.komisc.ru](mailto:fefilova@ib.komisc.ru), [baturina@ib.komisc.ru](mailto:baturina@ib.komisc.ru)

Одним из последствий экспансии деятельности человека в современном мире является быстрое расселение водных беспозвоночных на большие расстояния, преодоление ими биогеографических границ и, как следствие, изменение биоразнообразия регионов (Алимов и др., 2004). Аквариумистика является одним из видов деятельности, способствующей интродукции чужеродных видов в природные экосистемы (Ruiz et al., 1997; Duggan et al., 2006).

В 2018–2022 гг. в реках Вычегда и Сысола (Республика Коми) в зонах сброса сточных вод регистрировали новые для региона виды веслоногих ракообразных: *Elaphoidella bidens* (Schmeil), *Phyllognatopus viguieri* (Maupas), *Paracyclops imminutus* (Kiefer) (Фефилова и др., 2021). Механизмы проникновения этих видов в Вычегдский бассейн до сих пор остаются недостаточно изученными, хотя наиболее вероятным представляется их попадание в природные экосистемы со сточными водами.

Целью нашей работы было изучить состав аквариумной фауны беспозвоночных животных, определить вероятные регионы происхождения найденных видов и оценить возможность их натурализации в природных местообитаниях нашего региона (Республики Коми).

Материалом для исследований послужили гидробиологические пробы из пяти искусственных водоемов «Республиканского центра экологического образования» (ГУДО РК «РЦЭО») города Сыктывкара: четыре аквариума, различных по объёму и составу их обитателей (рыб и водных макрофитов), а также неработающий фонтан небольшого размера и бочка, используемая для отстаивания воды. Из рыб аквариумы населяли гуппи (*Poecilia*), анциструсы (*Ancistrus*), цихлазома радужная (*Cichlasoma synspilum* Hubbs), таракатум (*Megalechis thoracata* Valenciennes). Пробы собирали в период с 27 октября по 3 ноября 2022 г. во время чистки аквариумов и подмены воды. Лабораторная обработка фиксированных и живых проб для выявления состава фауны проводилась по стандартным методикам. Из найденных беспозвоночных определяли коловраток (*Rotifera*) (до рода), коллембол (*Collembola*), многощетинковых (*Polychaeta*) и малощетинковых червей (*Oligochaeta*), клещей (*Acari*), веслоногих (*Harpacticoida*, *Cyclopoidea*) и ветвистоусых (*Cladocera*) ракообразных.

В результате в обследованных искусственных водоемах было найдено 15 видов и форм водных организмов, из которых по числу таксонов преобладали коловратки. Большинство из обнаруженных видов указаны для природных экосистем Республики Коми. Только представители микро-ракообразных отряда *Harpacticoida* явно не относились к аборигенным таксонам этого региона (Фефилова, 2015). Так, найденная нами гарпактикоида *Nitokra* cf. *platypus pietschmanni* Charpuis распространена в Тихоокеанском бассейне (Lang, 1948), происхождение неидентифицированной *Elaphoidella* мы связываем с тропическими, субтропическими областями, где этот богатый видами род (порядка 250 видов) наиболее разнообразен. Гарпактикоиды в обследованных водоемах в среднем составляли 17% численности всех беспозвоночных, наибольшее их количество отмечалось в безрыбном отстойнике.

В результате наших исследований показано, что в аквариумных сообществах развиваются устойчивые популяции экзотических для Республики Коми видов микро-ракообразных. Теоретически возможно проникновение этих организмов в природные экосистемы и их натурализация на локальных участках акваторий при изменении их температурного режима, например, тепловом загрязнении.

*Выражаем искреннюю благодарность сотрудникам ГУДО РК «РЦЭО» Сыктывкара за помощь в отборе проб, специалистам отдела экологии животных Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (А. А. Таскаевой и Е. Н. Мелехиной) за определение видов коллембол и клещей.*

*Работа выполнена в рамках гос. задания №122040600025-2.*

## ЛИТЕРАТУРА

Алимов А. Ф., Богуцкая Н. Г., Орлова М. И., Паевский В. А., Резник С. Я., Кравченко О. Е. Антропогенное распространение видов животных и растений за пределы исторического ареала: процесс и результат // Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. С. 16–43.

Фефилова Е. Б., Расова Е. Е., Велегжанинов И. О. Исследования морфологии и генетики веслоногих раков (Copepoda) в зонах теплового загрязнения рек Республики Коми // Сибирский экологический журнал, 2021. № 6. С. 737–744.

Фефилова Е. Б. Фауна европейского Северо-Востока России. Веслоногие раки (Copepoda). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. Т. XII. 319 с.

Duggan I. C., Green J. D., Burger D. F. First New Zealand records of three non-indigenous zooplankton species: *Skistodiaptomus pallidus*, *Sinodiaptomus valkanovi*, and *Daphnia dentifera* // Freshw. Res., 2006. V. 40. P. 561–569.

Lang K. Monographie der Harpacticiden. Sweden: Hakan Ohlsson, Lund, 1948. V. 1, 2. 1682 p.

Ruiz G., Carlton J., Grosholz E., Hines A. H. Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent and consequences // American Zoologist, 1997. V. 37 (6). P. 621–632.

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛУГОВЫХ УГОДИЙ КЕНОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА НА ТЕРРИТОРИИ ВЕДЯГИНО- ТЫРЫШКИНСКОГО КУЛЬТУРНО-ЛАНДШАФТНОГО КОМПЛЕКСА

**А. М. Губина, Т. А. Парина**

Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, Архангельск

E-mail: [gubina.a.m@yandex.ru](mailto:gubina.a.m@yandex.ru)

На территории Кенозерского национального парка сохраняются уникальные для Русского Севера не только культурные и исторические, но и природные объекты, в частности, антропогенно-зависимые вторичные экосистемы – луговые угодья, являющиеся отражением истории ведения сельского хозяйства на Европейском Севере и индикатором общего хода современных сукцессионных смен растительного покрова. Антропогенно-зависимые вторичные луговые экосистемы находятся сегодня под угрозой исчезновения. Основная причина – прекращение использования из-за катастрофического аграрного спада, особенно сильно проявляющегося в зонах рискованного земледелия. Луговое биоразнообразие сокращается, исчезают виды орхидных и мелкотравного лугового разнотравья

Цель исследования: комплексный анализ модельных луговых угодий на территории Ведягино-Тырышкинского культурно-ландшафтного комплекса Кенозерского национального парка.



Исследование провели в июле 2022 года, в период максимального развития травостоя. Описали 15 стандартных луговых геоботанических пробных площадей в пределах шести модельных угодий. Большинство обследованных угодий – материковые луга на холмистой равнине, за исключением трех угодий в окрестностях д. Ведягино, относящихся к озерной пойме). Участки, в соответствии с планом межевания 1861 года, использовались как минимум начиная с 70-х годов XX века в качестве пашни, затем до начала XXI века под сенокос.

Геоботанические пробные площади закладывали в пределах однородных контуров растительности модельных угодий, описания проводили по стандартной методике (Лайдинен и др., 2001). Продуктивность определяли укосным методом (Паринова, Волков, 2017). Кормовую ценность травостоя определяли по бальной шкале от -1 до 9 (Клаап, 1963).

Флора представлена преимущественно травянистыми видами, деревья и кустарники отмечаются пока единично, от стены окружающего леса. Видовое богатство угодий включает 85 видов сосудистых растений, что составляет менее 8% от общей флоры Архангельской области (Шмидт, 2005) и 25% от флоры Кенозерского национального парка (Разумовская и др., 2012). Флористический состав количественно относительно небогат, при этом качественно еще включает в себя виды орхидных (*Gymnadenia conopsea*, *Listera ovata*) и мелкотравного лугового разнотравья. Видовая насыщенность соответствует средним показателям для лугов Архангельской области этого типа и способа использования, и составляет 23 вида.

Всего по доминантам выделено четыре ассоциации. По суходольным участкам обычны ассоциации с доминированием *Dactylis glomerata*, *Agrostis tenuis*, *Festuca rubra*, по низинным – с *Filipendula ulmaria*. Различия в видовом составе и видовой насыщенности обуславливают отличия в продуктивности угодий (рис.).

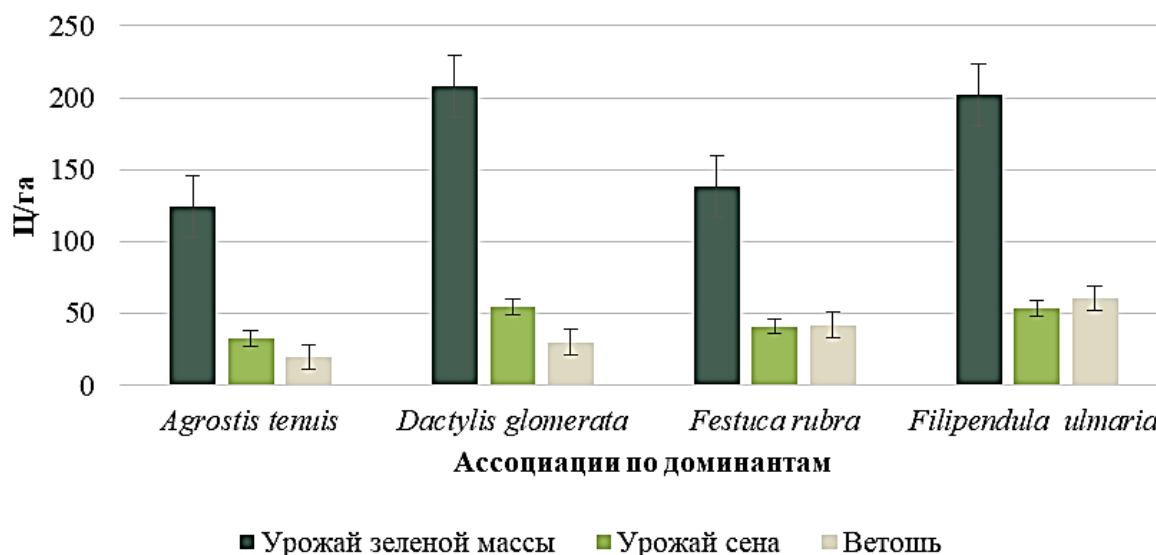
Средний урожай зеленой массы  $195.7 \pm 21.4$  ц/га (от 114.1 до 378.5). Средний урожай в перерасчете на сено  $51.3 \pm 5.8$  ц/га (от 29.2 до 94.8). Среди всех ассоциаций отмечаем высокую долю ветоши сена  $27.9 \pm 5.8$  ц/га (от 1.3 до 63.2), что объясняем отсутствием хозяйственной деятельности на протяжении последних десятилетий. Наибольшая продуктивность отмечена для ассоциаций с доминированием злаков – *Dactylis glomerata* и крупногабитасного разнотравья – *Filipendula ulmaria*.

Кормовая ценность травостоя различна в отдельных ассоциациях, наиболее ценными в качественном отношении являются злаковые ассоциации (табл.).

Качество травостоя значительно ухудшают хозяйственно-вредные виды, занимающие до 30% от общего флористического списка, в основном: *Deschampsia cespitosa*, *Carex* spp., *Ranunculus* spp., *Rhinanthus* spp. В качественном и количественном отношении характеризуем угодья как среднепродуктивные.

Исследованные угодья находятся на начальных этапах демулационной зональной сукцессии. Для поддержания хозяйственно-культурного ландшафта и сохранения лугового биоразнообразия на залежных угодьях необходимо осуществлять еже-

годные хозяйственные мероприятия. В первую очередь – одноукосный сенокос в фазу максимальной вегетации доминантных видов (конец июня-первая декада июля) с обязательным выносом отчуждаемой зелёной массы.



Оценка количественных показателей продуктивности.

Таблица

Кормовая ценность травостоев в исследуемых ассоциациях

Группа по доминирующему виду	Кормовая ценность травостоев, баллы				
	Злаки	Осоки	Бобовые	Разнотравье	Среднее
<i>Dactylis glomerata</i>	6.5	0.4	6.5	2.4	4
<i>Filipendula ulmaria</i>	6	0.7	6.4	2.6	3.9
<i>Agrostis tenuis</i>	5.6	2	6.7	2.5	4.2
<i>Festuca rubra</i>	5.3	1	6.8	2.2	3.8

Исследования выполнены в рамках научно-исследовательских работ Кенозерского национального парка по договору №269.

### ЛИТЕРАТУРА

Клаан Э. Сенокосы и пастбища. М.: Изд-во сельхоз. лит-ры, журналов и плакатов, 1961. 613 с.

Лайдинен Г. Ф., Ларионова Н. П., Лантратова А. С. Геоботаническое изучение луговой растительности / Методы полевых и лабораторных исследований и растительных сообществ: сборник статей. Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. С. 243–296.

Паринова Т. А., Волков А. Г. Методы изучения луговых экосистем: учебное пособие. Архангельск: КИРА, 2017. 141 с.

Разумовская А. В., Кучеров И. Б., Пучнина Л. В. Сосудистые растения национального парка «Кенозерский» (Аннотированный список видов). Северодвинск, 2012. 162 с.

Шмидт В. М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 346 с.

## СОСТАВ ВЫСОКО- И НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ – МАРКЕРОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ОТХОДОВ ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Е. Д. Гундерина<sup>\*,\*\*</sup>, Р. С. Василевич<sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [gunderina@ib.komisc.ru](mailto:gunderina@ib.komisc.ru)

<sup>\*\*</sup>Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар

E-mail: [vasilevich.r.s@ib.komisc.ru](mailto:vasilevich.r.s@ib.komisc.ru)

В Республике Коми при переработке древесины накапливается большое количество кородревесных отходов (КДО). Современные технологии позволяют перевести продукты разложения КДО в биоресурс, например, гуминовые препараты. В то же время места складирования КДО являются уникальными объектами, в которых возможно исследование процесса гумификации природных биополимеров.

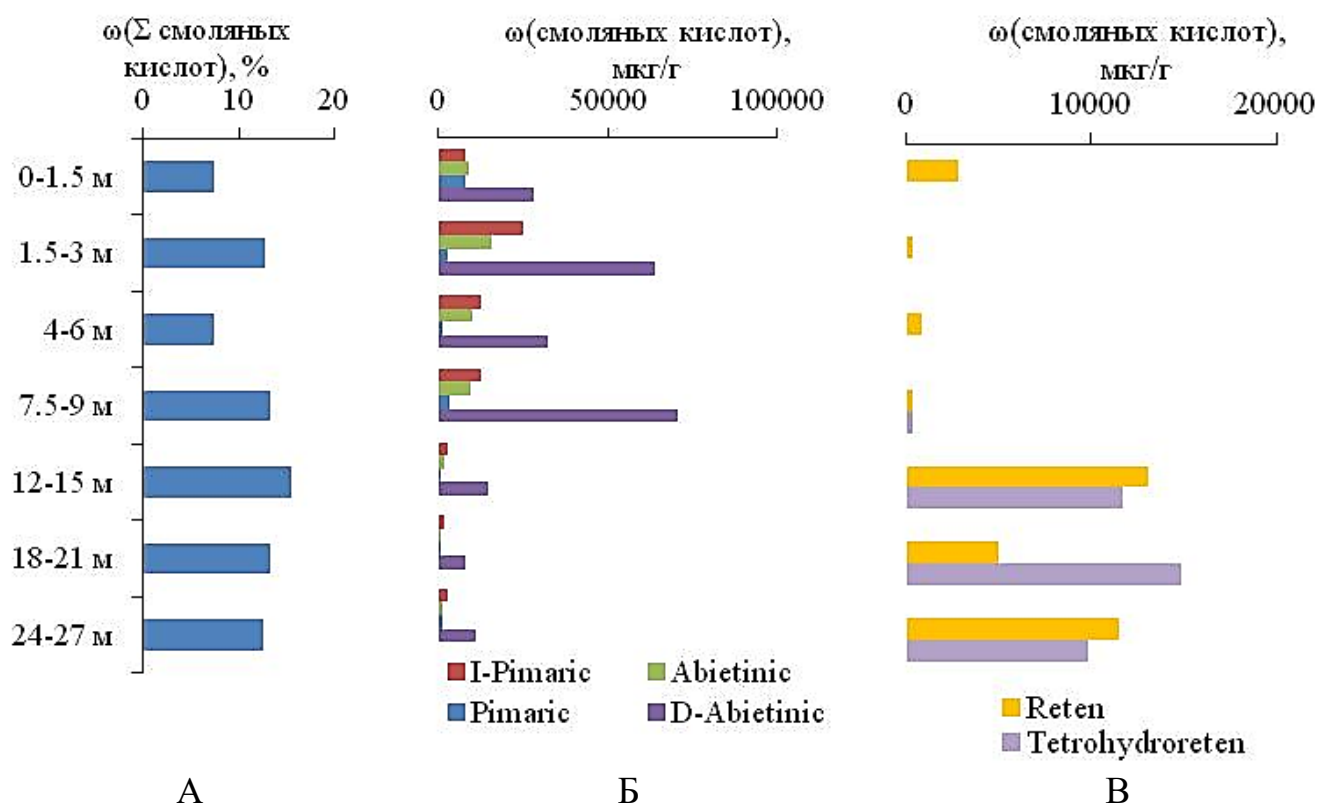
Исследуемый разрез глубиной 27 м расположен на территории складирования в местечке Лесозавод г. Сыктывкара. Исследованные образцы КДО представляют: на глубине 0-1.5 м смесь щепы и опилок без видимых признаков изменения морфологического строения и разложения ( $R = 5\%$ ), 1.5–3.0 м наблюдается начальный этап разложения КДО ( $R = 15\%$ ), степень которой увеличивается вниз по профилю вплоть до 35%. Анализ данных ботанического состава показывает, что массив КДО представлен преимущественно хвойным материалом.

Проведено последовательное фракционирование для определения группового состава органического вещества (ОВ) КДО. Максимальное содержание ГК, липидной фракции и лигнина приходится на слой 3–9 м и составляет (4.9, 9.2 и 38.7%), что связано с наибольшей степенью разложения исходного субстрата. Ниже по профилю доля соответствующих фракций ОВ уменьшается вследствие высокой зольности и влажности субстрата.

Низкомолекулярные органические соединения служат маркерами исходных прекурсоров растительного сырья, условий гумификации и отражают основные механизмы трансформации ОВ. Доля жирных кислот липидной фракции достигает 8.3%. В их составе доминируют кислоты с четным количеством атомов углерода (C16C24). В хвойных породах основными являются олеиновая и линолевая кислоты, среди высших жирных насыщенных кислот доминируют пальмитиновая, арахиновая, бегеновая и лигноцериновая кислоты. Вклад двух последних значительно увеличивается в центральной и нижней частях профиля, составляя большую часть липидной фракции. Накопление длинноцепочечных жирных кислот может быть связано с их малой доступностью для микробиоты.

Доля смоляных кислот в составе экстракционной липидной фракции доминирует и достигает 15.4% (рис. А). До глубины 9 м доминируют абиетиновая, пимаровая

и особенно дегидроабиетиновая и изопимаровая – основные смоляные кислоты в составе хвойной древесины (рис. Б). В нижней части профиля основу составляют кислоты со структурой типа ретена, представляющие собой молекулы неполностью гидрированных фенантронов (рис. В). Статистический анализ с применением метода главных компонент подтверждает образование структур ретена из смоляных кислот абиетинового и пимарового типов через образование дегидроабиетиновой кислоты в анаэробных условиях. Данные превращения происходят в результате декарбоксилирования, деметилирования и ароматизации (Lambie, 2000). Конечным продуктом данной цепочки будет образование полициклических ароматических углеводородов (Пожидаев и др., 2016).



Профильное распределение содержания: суммы смоляных кислот (А), изопимаровой, абиетиновой, пимаровой, дегидроабиетиновой кислот (Б); ретена, тетрагидроретена (В) в липидной фракции КДО.

Препараты ГК по данным <sup>13</sup>С ЯМР представлены молекулами с высоким содержанием ароматических фрагментов (36–42%) и карбогидратов (24–31%), указывая на участие фрагментов биополимеров древесины: лигнина и целлюлозы, а также танинов и терпенов в их построении. Доля парафиновых фрагментов в ГК значительно ниже (14–23%) и связана с включением фрагментов жирных кислот, воско-мол и парафинов. В целом, полученные данные состава ГК отличны от данных состава древесины вследствие выполнения основного правила гумификации в части увеличения конденсированности молекул ГК в сравнении с исходным материалом и содержанием фрагментов: доля парафинов 13%, карбогидратов 59%, ароматических

фрагментов (лигнин и танины) 19%. Содержание метокси-групп в ГК значительно уменьшается вниз по профилю до глубины 9 м от 10 до 6%.

Общеизвестно, что в хвойной древесине лигнин представлен единицами исключительно гваяцильного типа, в то время как в лиственной древесине имеется также значительное количество сирингильных структур. Анализ данных ИК-спектроскопии показывает наличие интенсивной линии  $1270\text{ см}^{-1}$  скелетных колебаний гваяцильного кольца во всех ГК. Валентные колебания ароматических связей  $\text{C}=\text{C}$  фрагментов лигнина в области  $1510\text{ см}^{-1}$  обнаруживаются во всех препаратах ГК. Использование интенсивности этой линии в препаратах древесного лигнина в качестве стандарта, позволяет проведение полуколичественной оценки доли лигниновых фрагментов в ГК и в КДО. Расчет показывает, что в процессе гумификации происходит концентрирование лигнина в ГК (до 42%) по сравнению с исходным сырьем (до 39%), далее вниз по профилю вклад структур лигнина уменьшается до 17%. При этом на начальном этапе трансформации структуры ГК при сопоставлении спектров с глубин (0–1.5 и 1.5–3.0 м) отмечается значительный рост интенсивности линии  $1608\text{ см}^{-1}$  валентных колебаний углерода ароматических циклов. Полифенолы, происходящие из лигнина и дубильных веществ, могут окисляться с помощью ферментов оксидоредуктазы и лакказы с образованием высокореакционноспособных семихиноновых свободных радикалов и/или хинонов. Такие структуры участвуют в полимеризации, образуя конденсированные структуры в ГК (Huang, Hardie, 2009).

Таким образом, на начальном этапе гумификации происходит деградация молекул природных биополимеров в составе КДО до олигомерных структур трансформации гваяцил- и сирингилпропионовых фрагментов лигнина и длинноцепочечных фрагментов целлюлозы и парафинов, которые образуют макромолекулярную структуру протогуминовых кислот (ПГК). Среди низкомолекулярных органических соединений преобладают фракции смоляных кислот абietetинового и пимарового типов и жирных кислот с четным количеством атомов углерода (C16–C24). Показано, что в процессе гумификации происходит биохимическая трансформация длинноцепочечных лигниновых фрагментов в наиболее устойчивые конденсированные структуры в молекулярных ансамблях ГК. В анаэробных условиях смоляные кислоты в результате процессов декарбоксилирования, деметилирования и ароматизации превращаются в структуры, которые являются предшественниками ПАУ.

*Авторы признательны Т. Н. Щемелининой, Е. М. Анчуговой, И. В. Груздеву за помощь в проведении исследования. Работа выполнена в рамках бюджетной темы НИР (№122040600023-8).*

#### ЛИТЕРАТУРА

Пожидаев В. М., Камаев А. В., Дэвлет Е. Г., Грешников Э. А., Нуретдинова А. Р., Сивецкий М. В. Газохроматографическое исследование остатков содержимого средневекового сфероконического сосуда // Журнал аналитической химии, 2016. Т. 71. № 11. С. 1209–1212.

*Huang P. M., Hardie A. G.* Formation Mechanisms of Humic Substances in the Environment // Biophysico-Chemical Processes Involving Natural Nonliving Organic Matter in Environmental Systems. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. P 41–108.

*Lambie S. M.* Pulp and paper effluent organic constituents interactions with soil matrices // Masters Degree Theses [Электронный ресурс]. Hamilton, New Zealand: The University of Waikato, 2000. Режим доступа: <https://researchcommons.waikato.ac.nz/handle/10289/14982?show=full>

## **ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МУЛЬТИСУБСТРАТНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ**

**Е. А. Данилова**

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск

E-mail: [Dorriss@bk.ru](mailto:Dorriss@bk.ru)

В настоящее время хозяйственная деятельность человека стала мощнейшим из факторов, изменяющих физико-геохимические свойства планеты. В связи с этим возникла необходимость в экологическом мониторинге и получении детальной информации о фактическом состоянии природных экосистем, а также оценке и прогнозировании их трансформаций под влиянием антропогенного фактора.

При исследовании структурно-функциональной организации биогеоценозов прежде всего проводится анализ их элементной структуры. В анализ входит оценка множества параметров, в числе которых: оценка особенности биотических взаимоотношений в формировании структуры основных блоков экосистем, а также выявление и оценка закономерности влияния среды обитания на структуру и функционирование организмов и их экологических групп.

Исследование функционального состояния микробных сообществ почв имеет огромное значение для понимания их особенностей, в том числе их участия в процессах почвообразования и круговороте веществ, обеспечивающих гомеостаз экосистемы. С помощью почвенных микроорганизмов в биогеоценозах гомеостаз осуществляется в отношении поддержания на постоянном, характерном для данного типа почвы уровне органического вещества, а также определенного содержания доступных для растений макроэлементов. Кроме того, микроорганизмы выполняют огромную роль в процессах образования и накопления биологически активных веществ в почве, которые стимулируют рост и развитие растений. В связи с тем, что большинство процессов превращения органических и неорганических веществ в почве находятся под контролем микробных ферментов, в данном исследовании был сделан акцент не только на оценку структуры микрофлоры почв, но и на изучение ферментативной активности микробных сообществ, а также выявление влияния

факторов среды на стабильность метаболической активности микроорганизмов, которые можно оценить методом мультисубстратного тестирования (МСТ).

Цель данного исследования – оценка функционального состояния микробного сообщества почв с использованием метода МСТ.

Для этого был определен ряд задач: проведение экологического мониторинга почвенного покрова фоновых и антропогенно-нарушенных территорий, характеристика таксономического разнообразия и идентификация бактериальных комплексов верхних горизонтов исследуемых почв, выявление доминирующих структур бактериальных комплексов при проведении МСТ, а также проведение сравнительного анализа почвенной микрофлоры фоновых и антропогенно-нарушенных биогеоценозов.

Объектом исследования послужили торфяные дерново-подзолистые почвы фонового биогеоценоза таёжной зоны Республики Карелия. Материалы для оценки функционального состояния микробного сообщества исследуемых почв были отобраны случайным образом согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017 осенью 2022 г. с участков, территориально приуроченных к Пряжинскому району вблизи р. Падозерки и деревни Виданы.

В лабораторных условиях кафедры зоологии и экологии ПетрГУ из микрофлоры исследуемых образцов почвы были выделены чистые культуры гетеротрофных бактерий, а также оценены морфологические и культуральные особенности доминантных таксонов. Все микробиологические исследования были выполнены согласно рекомендациям В. И. Романенко, С. И. Кузнецова (1974) и Д. Г. Звягинцева (1991). Культуральные свойства бактерий (пигментация, профиль, блеск, консистенция и размер колоний) определяли при посеве их на агаризованные питательные среды (ГРМ-Агар). Морфологию клеток (их форму, размеры, подвижность, а также наличие спор) изучали стандартным методом при микроскопии окрашенных по Граму препаратов.

Для мультисубстратного тестирования планируется применить коммерческие микрообъемные тест-системы, производства НИЦФ, содержащие субстрат реакции в питательной среде. К основным ферментным системам, значимым для определения функционального состояния выделенных микроорганизмов были отнесены: каталаза, цитохромоксидаза, фосфатаза, аргинин-декарбоксилаза, лизин-декарбоксилаза, орнитин-декарбоксилаза, желатиназа и группа сахаролитических ферментов.

В результате проведенной работы и первичной обработки полученных данных из микрофлоры исследуемых образцов почвы были выделены представители домена (надцарства) *Bacteria* – истинные бактерии или *Eubacteria* трех типов: *Actino-bacteria*, *Firmicutes* и *Proteobacteria*. Для типа *Actinobacteria* характерным является сродство к сапрофитическому образу жизни, а также способность расщеплять широкий спектр органических остатков растительного и животного происхождения. Доминантными семействами типа *Actinobacteria* оказались *Micrococcaceae* и *Mycobacteriaceae*. К типу *Firmicutes* были отнесены культуры с характерным строением клеточной стенки, свойственной грамположительным бактериям. Ими оказались представители четырёх семейств: *Clostridiaceae*, *Bacillaceae*, *Streptococcaceae* и *Staphylococcaceae*. Тип *Proteobacteria* был пред-

ставлен классом  $\gamma$ -*Proteobacteria*, порядком *Enterobacterales*. Ввиду исключительной неоднородности протеобактерий и постоянной переклассификации семейства *Enterobacteriaceae*, таксономическая идентификация представителей данного типа была установлена только на уровне класса, порядка и семейства согласно фенотипическим признакам, регламентированным работе (Bergey's Manual..., 2005).

Таким образом, в результате проведенной работы получены первичные данные по оценке функционального состояния микробного сообщества исследуемых почв, необходимые для комплексного анализа негативного воздействия факторов окружающей среды на почвенные микробиоценозы.

#### ЛИТЕРАТУРА

Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

Романенко В. И., Кузнецов С. И. Экология микроорганизмов. Л.: Наука, 1974. 194 с.

*Bergey's Manual of systematic bacteriology: Volume Two: The Proteobacteria, Part A Introductory Essays* / Ed. D. J. Brenner, N. R. Krieg, J. T. Staley. New York, NY: Springer-Verlag US, 2005. 1106 p.

### **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОТОКОВ CO<sub>2</sub> С ПОВЕРХНОСТИ АГРОТЕМНО-СЕРЫХ ПОЧВ ПРИ ИХ ОБРАБОТКЕ МИКРОВОДОРОСЛЬЮ *CHLORELLA SOROKINIANA***

**Е. Д. Довидович\*, Н. П. Неведров\*, В. А. Лукьянов\*\*, Р. Е. Стрелков\***

\*Курский государственный университет, Курск

E-mail: [dovid.ovo@ya.ru](mailto:dovid.ovo@ya.ru)

\*\*Курский федеральный аграрный научный центр, Курск

Почвы агроэкосистем – это антропогенно преобразованные почвы с, как правило, ежегодно перемешиваемым и постоянно эродированным поверхностным горизонтом, призванным обеспечить оптимальные экологические условия для выращивания сельскохозяйственных культур. В результате активной обработки, несбалансированного применения органических и минеральных удобрений происходят большие потери органического углерода в пахотных слоях при его недостаточном накоплении, что негативно сказывается на плодородии почвы, а также вносит существенный вклад в эмиссию парниковых газов, в частности диоксида углерода (Арутюнов, 2001).

В последние годы набирает популярность использования микробиологических препаратов на основе одноклеточных водорослей для стимулирования роста и про-



дукции сельскохозяйственных культур, а также повышения плодородия почв за счет фотосинтетической активности (Лукьянов, Стифеев, 2016).

Цель исследования состояла в выявлении влияния приемов обработки почв агропрепаратом на основе *Chlorella sorokiniana* на пространственно-временную изменчивость скорости почвенной эмиссии CO<sub>2</sub> с поверхности агротемно-серых почв.

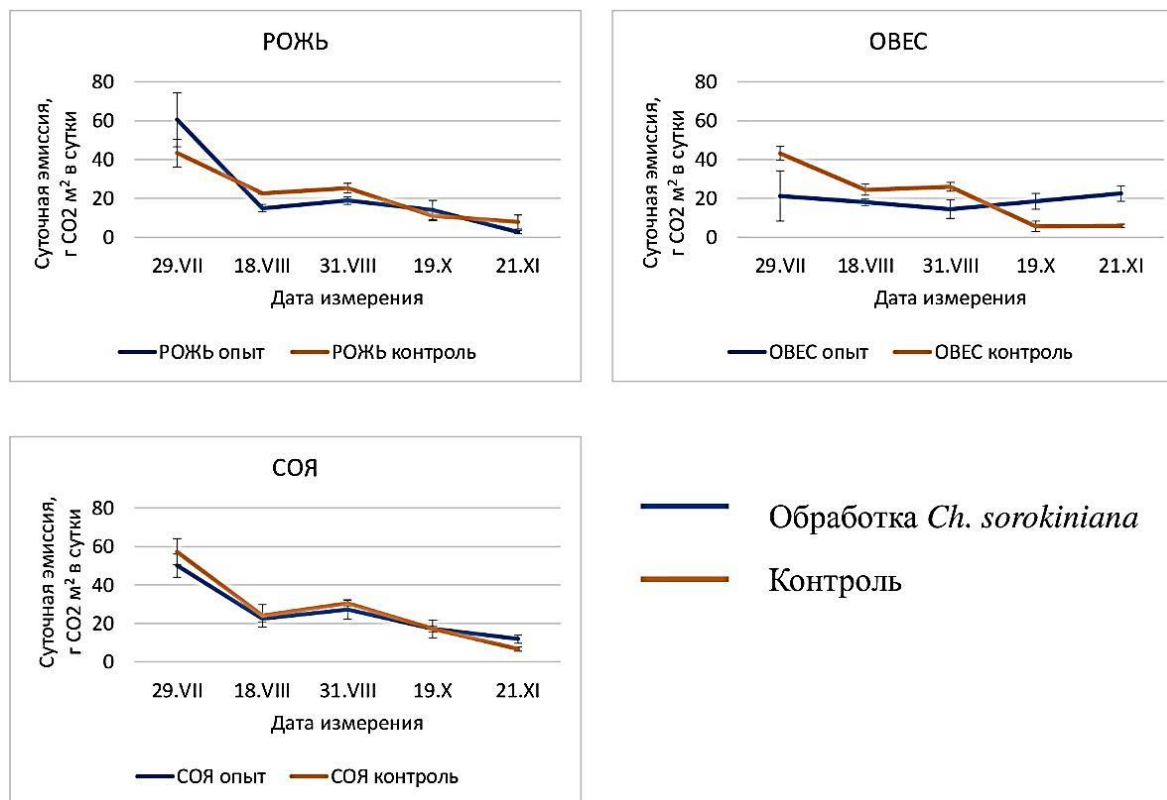
Исследование проводилось на пахотных агротемно-серых почвах Агробиостанции КГУ (Курская область, Курский район) под тремя культурами: овес (*Avena sativa* L.), рожь (*Secale cereale* L.) и соя (*Glycine max* (L.) Merr.). Почва под посевами была обработана суспензией микроводоросли *Ch. sorokiniana* в дозе 4 л/га путем опрыскивания поверхности почвы. Контрольные участки обрабатывались аналогичным объемом воды. Обработка проводилась однократно при установлении среднесуточной температуры воздуха не менее +15 °С в фазу развития плодов. На контрольных и опытных участках проводили измерения скорости эмиссии диоксида углерода методом закрытых камер с применением инфракрасного газоанализатора CO<sub>2</sub> (Неведров и др., 2021) с июля по ноябрь. Параллельно с заемами эмиссии CO<sub>2</sub> проводились измерения температуры и влажности почвы.

В варианте с овсом в июле и августе значения скорости эмиссии CO<sub>2</sub> из обработанной *Ch. sorokiniana* почвы существенно ниже, чем из почв контрольных вариантов (рис.). По-видимому, условия для развития микроводоросли в почве сложились относительно оптимальные, что оказало влияние на объемы эмитируемого почвой диоксида углерода при его выходе из почвы в атмосферу. В октябре и ноябре значения показателя эмиссии CO<sub>2</sub> из обработанных почв возрастали в 3.3–3.8 раза относительно почв контрольных участков. Такое повышение скорости эмиссии может быть связано с гибелью водорослей в холодный период года и биодеструкцией их клеток, сопровождающейся активным выделением диоксида углерода.

Под культурой ржи в июле в варианте с обработкой почв значения скорости эмиссии CO<sub>2</sub> были выше, чем в контрольном варианте (рис.). Однако в августе среднесуточная эмиссия на опытном участке снижалась относительно контрольного в 1.3–1.5 раз. В осенние месяцы существенных различий в скорости эмиссии между контрольным вариантом и вариантом с обработанной *Ch. sorokiniana* почвой не наблюдалось.

Внесение живой культуры микроводоросли в почву под культурой сои не приводило к изменениям скорости эмиссии CO<sub>2</sub> с поверхности почвы, что связано с высоким проективным покрытием, создающим более сильное затенение, чем исследуемые культуры злаковых (рис.).

Освещенность напочвенного покрова под культурами ржи и овса не различалась. Разница в значениях сезонной динамики исследуемого показателя между этими вариантами может быть обусловлена особенностями выделяемых в прикорневую зону экссудатов, а также спецификой поглощения культурами в ходе вегетации элементов минерального питания.



Сезонная динамика среднесуточной эмиссии СО<sub>2</sub> из почвы под культурами ржи, овса и сои при ее обработке *Ch. sorokiniana*.

Установлена корреляционная связь показателя эмиссии СО<sub>2</sub> из почвы с влажностью почвы ( $r = -0.19$ ) и температурой почвы ( $r = 0.65$ ).

Максимальные значения скорости эмиссии в течение практически всего сезона исследования отмечались под культурой сои, что еще раз подтверждает низкую активность хлореллы в данном варианте опыта.

В целом объем эмитируемого СО<sub>2</sub> из почв за период исследования был наибольшим в варианте опыта с культурой сои. Обработанная микроводорослью почва под данной культурой эмитировала на 16.5% больше, чем почва под овсом, и на 21.6% больше, чем почва под культурой ржи. В контрольном варианте значение почвенной эмиссии под культурой сои превосходило значения эмиссии под культурой овса на 29.5% и под культурой ржи на 20.7%.

Таким образом, обработка агротемно-серой почвы препаратом на основе *Ch. sorokiniana*, имеет тенденцию к снижению выделения СО<sub>2</sub> с поверхности почвы на 25.5–45.0% при возделывании злаковых культур (овес и рожь) в Центрально-Черноземном регионе.

*Работа выполнена при финансовой поддержке программы «УМНИК» Фонда содействия инновациям, договор № 17460ГУ/2022.*

ЛИТЕРАТУРА

*Арутюнов В. С.* Парниковый эффект: проблема выбора стратегии // Российский химический журнал, 2001. Т. 45. №. 1. С. 5563.

*Лукьянов В. А., Стифеев А. И.* Агроэкологические особенности одноклеточных фотосинтезирующих организмов в условиях Центрального Черноземья // Инновации в АПК: проблемы и перспективы, 2016. №. 1. С. 60–68.

*Неведров Н. П., Саржанов Д. А., Проценко Е. П., Васенев И. И.* Сезонная динамика эмиссии CO<sub>2</sub> из почв города Курска // Почвоведение, 2021. №. 1. С. 70–79.

## **НАРУШЕНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИИ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ**

**А. С. Ильинцев**

Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Архангельск

E-mail: [a.ilintsev@narfu.ru](mailto:a.ilintsev@narfu.ru)

Нарушение почвенного покрова может быть определено как любое нарушение, которое изменяет физические, химические или биологические свойства почвы (Lewis and Timber Harvesting Subcommittee, 1991).

В процессе лесозаготовок наблюдаются различные виды нарушений: уплотнение почвы, разрушение структуры почвы, перемещение лесной подстилки и почвы, перемешивание генетических горизонтов и др. (Cambi et al., 2015; Дымов, 2020; Ilintsev et al., 2021). Однако не все виды нарушений почвы являются плохими. Например, в лесокультурой практике обычно назначают целенаправленные нарушения почвы, то есть обработку почвы (минерализация, создание микроповышений, оканавливание и др.) в качестве подготовки участка для проведения мер содействия естественному лесовозобновлению, посадки сеянцев или посева семян.

Стратегии управления лесным хозяйством должны обеспечивать баланс между «благоприятными» и «вредными» нарушениями путем ограничения последних. Нарушение почвенного покрова пропорционально площади, затронутой обработкой почвы, обычно от 30 до 50%, например, при частичной обработке. Обработка почвы выступает одним из основных факторов в практике ведения лесного хозяйства, который создает конфликты с другими экосистемными услугами. Для урегулирования этих конфликтов в области землепользования бережливое лесное хозяйство с точно направленными мелкомасштабными операциями могло бы стать регулируемым инструментом (Rautio et al., 2023).

Цель исследования – оценить параметры обработанной почвы с помощью экскаватора при искусственном лесовосстановлении на вырубках в таежных лесах на северо-западе России. Для выполнения данной цели в 2022 году обследовали 32 ле-

сокультурные площади, в том числе 26 шт. в Архангельской области и 6 шт. в Республике Коми. Лесокультурные площади были представлены различными лесорастительными условиями (лишайниковые, брусничные, черничные и долгомошные) с подзолистыми почвами (типичные, глееподзолистые) и разной степенью оподзоливания и, как правило, разного гранулометрического состава (песчаные, супесчаные, легкосуглинистые). Частичная обработка почвы на данных площадях проводилась ковшем объемом 0.81 м<sup>3</sup> в агрегате с экскаваторами в весенний, летний и осенний период 2017-2022 гг. На 14 участках экскаваторы создавали полосы, а на остальных 18 участках – микроповышения точечного типа. Лесные культуры ели и сосны были созданы методом посадки с применением посадочных труб Pottiputki для семян с закрытой корневой системой и мечей Колесова для семян с открытой корневой системой.

На каждой лесокультурной площади закладывали учетные площадки размером 25x25 м (20x20 м), которые примыкали к друг другу. Количество учетных площадок обосновывалось, исходя из однородности и площади вырубок. Всего было заложено 134 учетных площадок. На учетных площадках определяли глубину обработки и площадь обработанной почвы, которую рассчитывали путем замера размеров обработанной полосы или микроповышения (микропонижения). Для установления различий в обработанной площади почвы между полосной обработкой и микроповышениями применили непараметрический критерий Манна-Уитни.

Результаты исследования показывают, что при обработке почвы полосами доля обработанной почвы изменяется в пределах от 20.0 до 34.8%, и в среднем составляет 26.1%. Ширина полос изменяется от 1.0 до 1.5 м и в среднем составляет 1.2 м. В некоторых условиях широкие полосы обеспечивают более благоприятные условия и медленнее зарастают травянистой растительностью. Глубина обработки почвы составляет в среднем 12 см (от 10.0 до 16.5 см). При экскаваторной обработке почвы полосами создается выравненная поверхность со снятой лесной подстилкой и, частично, верхним минеральным горизонтом почвы.

При создании микроповышений доля обработанной почвы изменяется с 19.2 до 44.4%, и в среднем составляет 27.6%. Ширина площадок изменяется от 1.1 до 1.5 м и в среднем составляет 1.2 м. Длина площадок изменяется от 1.4 до 1.7 м и в среднем составляет 1.5 м. Глубина обработки почвы составляет в среднем 32.7 см (от 26.5 до 49.0 см). При данной обработке почвы происходит перемешивание и вынос на поверхность микроповышения срединных горизонтов с другим, как правило, более тяжелым, гранулометрическим составом. Одним из технологических приемов, при создании микроповышений, является их уплотнение ковшем для того, чтобы создать плоское посадочное место. Преимущества больших микроповышений перед маленькими включают меньший риск повреждений при заморозках, лучший долгосрочный дренаж и, в некоторых случаях, меньшую конкуренцию растительности. С другой стороны, большие микроповышения имеют недостатки, заключающиеся в

повышенном риске образования морозного пучения и повреждений корней посадочного материала ранней весной.

Результаты расчета критерия Манна-Уитни не показали различий в площади обработанной почвы между рассматриваемыми способами обработки почвы ( $Z = -0.6$ ,  $p = 0.54$ ). В данном случае большое значение имеет опыт оператора экскаватора. Оператору необходимо понимать в каких лесорастительных условиях применять полосную обработку или обработку микроповышениями, а также каких размеров должны быть создаваемые посадочные места.

Таким образом, для снижения площади нарушений почвенного покрова и более эффективной обработки почвы на вырубках северо-запада России следует разработать научно-обоснованные рекомендации для проведения дискретной обработки почвы с целью последующего внедрения в лесокультурное производство.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований (№ 122020100319-9).*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Дымов А. А.* Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. Москва: ООО «Издательство ГЕОС», 2020. 336 с.

*Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E.* Impact of heavy traffic on forest soils: A review // *Forest Ecology and Management*, 2015. V. 338. P. 124–138.

*Ilintsev A. S., Nakvasina E. N., Högbom L.* Methods of Protection Forest Soils during Logging Operations (Review) // *Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal]*, 2021. № 5. P. 92–116.

*Lewis T. and Timber Harvesting Subcommittee.* Developing timber harvesting prescriptions to minimize site degradation // *Forests Land Management Report 2*, 1991. № 62. 71 p.

*Rautio P., Lideskog H, Bergsten U., Karlberg M.* Lean forestry – A paradigm shift from economies of scale to precise and sustainable use of ecosystem services in forests // *Forest Ecology and Management*, 2023. V. 530. P. 1–6.

## РАЗНООБРАЗИЕ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ЭПИФИТНЫХ СООБЩЕСТВ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

**Д. Д. Кучина**

Институт биологии, экологии и агротехнологии, Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск  
E-mail: [Nabriz48@yandex.ru](mailto:Nabriz48@yandex.ru)

Известно, что большинство видов водорослей являются хорошими тест-объектами качества окружающей среды. Они быстро реагируют на изменение эко-

логического фона, проявляют чувствительность к большинству загрязнителей и способны их аккумулировать. Использование водорослей как биоиндикаторов водных и почвенных экосистем, является уже давно устоявшейся практикой. Однако, применение эпифитных водорослей для этих целей еще не так распространено. Более того, большинство исследований такого рода касаются только видов водорослей, растущих на водных растениях. В связи с этим, изучение возможности использования наземных эпифитных водорослевых биоценозов для решения задач экологического мониторинга является очень актуальной.

Цель данной работы состояла в изучении биологического разнообразия специфической экологической группировки микроводорослей коры деревьев, произрастающих на урбанизированных территориях. Для выполнения цели исследования, в октябре 2022 г. была отобрана кора сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и ели обыкновенной (*Picea abies*), произрастающих на территории г. Петрозаводска. Кору деревьев отбирали на высоте 120140 см над уровнем почвы, равномерно по периметру ствола. Альгологический материал высевали на основную среду Болда (Bold's Basal Medium-BBM) (Bold, 1949; Bischoff, Bold, 1963), рекомендованную для накопления биомассы хлорококковых, вольвоксовых и других видов зеленых водорослей и цианобактерий. В состав среды Болда входили комплекс микро- и макроэлементов и щелочной раствор этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА). Культивирование выполняли в условиях климатостата марки «В2» с заданными условиями по температуре, интенсивности света, фотопериоду. Для культивирования эпифитных микроводорослей устанавливали температуру 22 °С, освещенность – 3500 лк и свето-темновой период – 12 часов свет/12 часов темнота. По мере роста, культуры микроводорослей постоянно просматривали и определяли их состав с помощью цитологических признаков на прижизненных препаратах с использованием микроскопа Motic DM-BA-30, оснащенного цифровой камерой MotiCamPro и программой Motic Images Advanced 3.2.

В результате выполненных исследований среди микроводорослей эпифитных сообществ *P. sylvestris* и *P. abies* были обнаружены, как свободноживущие одиночные клетки, так и целостные колонии, что может быть связано с жизненным циклом микроводорослей, а также с комплексом абиотических и биотических факторов среды обитания. Среди одиночных клеток и одноклеточных цианоидов колоний преобладали шарообразные и эллипсоидные формы. Основные формы клеток, образующие трихомы были представлены коротко-эллипсоидными, удлиненно-эллипсоидными и квадратно-цилиндрическими клетками. Редко встречались гетерополярные клетки со слизистыми образованиями, необходимыми для прикрепления к субстрату. Независимо от вида растения-хозяина, в составе экологической группировки микроводорослей коры *P. sylvestris* и *P. abies*, произрастающих на территории города, установлено доминирование представителей синезелёных водорослей родов *Anabaena* spp., *Nostoc* spp. и зеленых водорослей родов *Klebsormidium* spp., *Pleurococcus* spp., *Desmococcus* spp.

Полученные первичные данные по разнообразию микроводорослей эпифитных сообществ высших растений урбанизированных территорий важны, как для накопления знаний в области прикладной альгологии, так и для решения природоохранных вопросов, связанных с использованием микроводорослей эпифитных сообществ высших растений для целей мониторинга.

**КАТАЛАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ  
ПОД ВЛИЯНИЕМ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN.  
(СРЕДНЯЯ ТАЙГА РЕСПУБЛИКИ КОМИ)**

**Н. С. Минина<sup>\*</sup>, Ю. А. Смотрина<sup>\*,\*\*</sup>, И. В. Далькэ<sup>\*,\*\*</sup>,  
И. Г. Захожий<sup>\*\*</sup>, Е. М. Лаптева<sup>\*\*</sup>**

<sup>\*</sup>Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар  
E-mail: [smotrina-juliya@yandex.ru](mailto:smotrina-juliya@yandex.ru)

<sup>\*\*</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар  
E-mail: [lapteva@ib.komisc.ru](mailto:lapteva@ib.komisc.ru)

Климатические изменения и деятельность человека неуклонно сокращают территории, пригодные для земледелия. В настоящее время около 1/3 пахотных угодий в мире подвергнуты разной степени деградации. Официальная перепись Росреестра, проведенная в России в 2016 г., выявила около 40% заброшенных земельных участков, которые не используются в сельском хозяйстве. В результате на заброшенных участках формируются постагрогенные экосистемы, где постепенно идет процесс восстановления зональных типов растительности. Сценарии восстановления растительности меняются в зависимости от ландшафтных, зональных условий и особенностей использования залежных участков до и после их вывода из агрорежима. Одним из факторов, который может существенно повлиять на постагрогенную трансформацию залежных экосистем, является процесс биологической инвазии. Одним из таких инвазионных видов является борщевик Сосновского – растение из группы гигантских борщевиков. В Республике Коми борщевик возделывали, начиная с середины XX века. Исследования последних лет показали, что его внедрение в постагрогенные экосистемы Севера способствует сохранению и поддержанию почвенного плодородия (Лаптева и др., 2021). Однако исследований, которые позволили бы оценить влияние инвазии борщевика на биохимические показатели почв (ферментативную активность), до настоящего времени не проводились.

Цель данной работы – выявление закономерностей изменения ферментативной активности почв под влиянием сукцессионной смены растительного покрова в постагрогенных экосистемах средней тайги.

Описание модельного участка, где оценивали изменение ферментативной активности почв постагрогенных экосистем на этапах развития луговой растительности, мелколиственного сообщества и моновидовых зарослей борщевика Сосновского, приведены в работе (Смотрина и др., 2022). Каталитическую активность почв определяли газометрическим методом – по объему выделившегося кислорода при взаимодействии перекиси водорода с образцом почв. Этот метод позволяет оценить не только вклад фермента каталазы (КАФ) в каталитическую активность почв, но и вклад катализаторов абиотической природы (КАнф). Отбор проб проводили в динамике (с июня по ноябрь 2022 г.) на участках под разными типами растительности на глубину 0–10 и 10–20 см методом конверта. Вклад ферментного пула нижних слоев пахотного горизонта в суммарный пул каталазы – коэффициент каталазной активности (КАА) – рассчитывали по формуле:

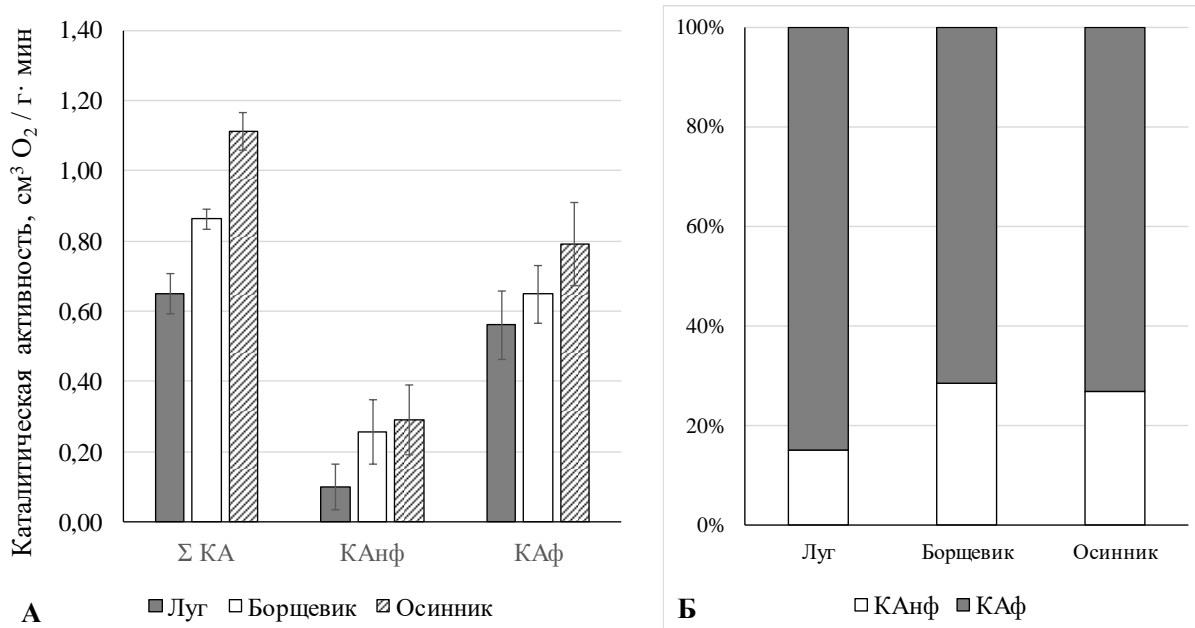
$$\text{КАА, \%} = \frac{\text{КАФ}_{(10-20)}}{\text{КАФ}_{0-10} + \text{КАФ}_{10-20}} \cdot 100$$

Статистическая обработка полученного массива данных свидетельствует о том, что в среднем за вегетационный сезон каталитическая активность бывшего пахотного горизонта в почвах постагрогенного участка (глубина 0–20 см), как суммарная, так и активность фермента каталазы, характеризуются низкими показателями. По градации Д. Г. Звягинцева (1978), по степени обогащенности ферментом каталазой все рассмотренные участки относятся к категории очень бедных – величина КАФ менее  $1 \text{ см}^3 \text{ O}_2/\text{г почвы} \cdot \text{мин}$ . Такие параметры каталазной активности соответствуют минеральным горизонтам почв средней тайги (Перминова и др., 2023).

Нами отмечено статистически достоверное возрастание суммарной каталитической активности в ряду: луг → борщевик → осинник и тенденция возрастания в этом ряду неферментативной каталитической активности и активности фермента каталазы (рис. 1). Причем в почвах под борщевиком и в осиннике наблюдается возрастание вклада в каталитическую активность катализаторов абиогенной природы (до 27–28%), в сравнении с участком, занятым луговой растительностью (15%).

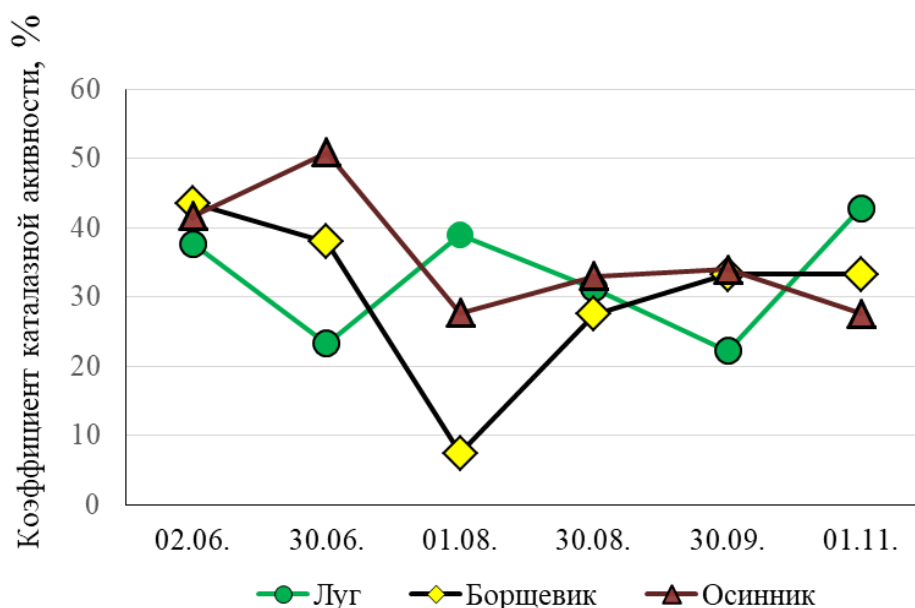
При оценке сезонной динамики показателей каталитической активности установлено, что наиболее стабильны эти параметры в почве под борщевиком, особенно, в верхней части бывшего пахотного горизонта (0–10 см). На лугу и в осиннике пул ферментов максимален либо в конце вегетации, либо в начале. Подтверждает различия в сезонной динамике параметров каталитической активности в почвах под разными типами растительности расчет коэффициентов варьирования представленных показателей. Наиболее стабильны параметры суммарной каталитической активности в почве под борщевиком (20.4%); неферментативной активности (обусловленной катализаторами абиогенной природы) – в почве осинника (34.3%); ферментативной (каталазной) активности – в почве под травянистой луговой растительностью (22.2%).





**Рис. 1.** Средние значения (А) и соотношение показателей (Б) каталитической активности в бывшем пахотном горизонте почв постагрогенного участка (июнь – ноябрь 2022 г., глубина 0–20 см, n = 30): Σ КА – суммарная каталитическая активность; КАф – активность фермента каталазы; КАнф – активность катализаторов абиотической природы.

Расчет величины КАА показал, что постагрогенные почвы, формирующиеся под зарослями борщевика и осинника, имеют сходную динамику в накоплении фермента каталазы по слоям почвы. Как видно из представленного графика (рис. 2), в начале вегетации на глубине 10–20 см аккумулируется до 40–50% от суммарных запасов каталазы, в конце вегетации – до 30%, а в конце июля – начале августа основная часть ферментного пула концентрируется в верхнем слое почвы – 0–10 см.



**Рис. 2.** Динамика коэффициента каталазной активности (ККА, %) в постагрогенной почве под разными типами растительности (глубине 10–20 см).

В постагрогенной почве, формирующейся под травянистой луговой растительностью, наблюдается преимущественная аккумуляция фермента каталазы в верхней части бывшего пахотного горизонта только в конце июня и в конце сентября. В остальные сроки отбора распределение ферментов по слоям пахотного горизонта практически стабильно – вклад нижнего слоя в общий пул фермента каталазы в пахотном горизонте – составляет около 40%.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) постагрогенные почвы подзоны средней тайги характеризуются низким уровнем ферментативной (каталазной) активности, соответствующим минеральным горизонтам среднетаежных подзолистых почв;

2) внедрение инвазионного вида *H. sosnowskyi* не повлияло на степень обогащения почв каталазой, однако в ряду: злаково-разнотравный луг → заросли борщевика → осинник отмечена тенденция возрастания суммарной каталитической, неферментативной и каталазной активности;

3) влияние растительности на параметры каталитической активности прослеживаются в специфике ее сезонной динамики и особенностях перераспределения содержания фермента по слоям почвы в зависимости от срока отбора.

#### ЛИТЕРАТУРА

Звягинцев Д. Г. Биологическая активность почв: шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение, 1978. № 6. С.48–54.

Лаптева Е. М., Захожий И. Г., Далькэ И. В., Смотрина Ю. А., Генрих Э. А. Влияние инвазии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на плодородие постагрогенных почв Европейского Северо–Востока (на примере средней тайги Республики Коми) // Теоретическая и прикладная экология, 2021. № 3. С. 36–43.

Перминова Е. М., Бондаренко Н. Н., Щемелинина Т. Н., Лаптева Е. М. Биохимическая активность подзолистых почв на вырубках среднетаёжных еловых лесов // Теоретическая и прикладная экология, 2023. № 1. С. 56–66.

Смотрина Ю. А., Лаптева Е. М., Захожий И. Г., Далькэ И. В. Влияние *Heracleum sosnowskyi* Manden. на ферментативную активность постагрогенных почв (средняя тайга Республика Коми) // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 1. Киров: ВятГУ, 2022. С. 419–423.

## ПОЧВЕННЫЙ МИКРОБОЦЕНОЗ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

О. И. Пищимко<sup>\*,\*\*</sup>, Ю. А. Николаенко<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск

<sup>\*\*</sup>Сибирский научно-исследовательский гидрометеорологический институт,  
Новосибирск

E-mail: [pishchimko@sibnigmi.ru](mailto:pishchimko@sibnigmi.ru)

Новосибирск является одним из самых крупных городов Сибири. Источники загрязнения городской среды мегаполиса различны и состав поллютантов неоднороден, имеет место синергическое влияние, которое сложно оценить методами инструментального анализа. Поэтому многие исследователи пользуются методом биоиндикации городской среды. В качестве биоиндикаторов чаще выступают растения (Петункина, Сарсацкая, 2015, Пищимко и др., 2022) и микроорганизмы (Артамонова, Бортникова, 2016). Состояние микробов городских почв (в Новосибирске преобладают серые лесные и черноземные почвы) говорит об изменениях в круговоротах элементов. Из элементов питания ключевым для роста растений является биогеохимический цикл азота, и первейшая роль в его превращениях принадлежит почвенным микроорганизмам. В результате аммонификации (разложения белков и других органических соединений с азотом) в городских почвах образуются как токсичные, так и важные для питания растений вещества. Это могут быть нитро- и нитрозосоединения, первичные, вторичные и другие амины, нитрилы и т.д. (Резников, 2006), а также минеральные соединения азота, питающие растения.

Цель исследования: установить, как группы почвенных микроорганизмов, участвующих в аммонификации и дальнейших превращениях азота, реагируют на степень антропогенной нагрузки в условиях полуторамиллионного мегаполиса.

Отбор почвенных проб проводили в 3 районах г. Новосибирска в слое 0–20 см серой лесной почвы в первой декаде августа:

1 – ул. Дуси Ковальчук, зона транспортно-промышленного загрязнения. Расположена на расстоянии от центра города в 4.3 км;

2 – ул. Советская, зона автотранспортного загрязнения. Центральная часть города;

3 – пр. Лаврентьева, зона окраины города с ослабленным транспортным потоком – граница парка им. М.А. Лаврентьева. Расстояние от центральной части города составляет 25 км.

Для оценки микробоценоза использовались классические методы определения численности почвенных микроорганизмов на плотных агаризированных средах.

Выявлено, что деструкторы сложных азотсодержащих соединений – аммонификаторы достоверно многочисленнее были в почве улицы Дуси Ковальчук (табл.). Их численность превышала обилие аммонификаторов на улице Советской в 1.4 раза. Это можно объяснить присутствием в почве этой территории с постоянным про-

мышленным и транспортно-логистическим загрязнением органических загрязнителей с азотом. Улица Советская характеризуется тоже большой транспортной нагрузкой, но с меньшим потоком грузовых автомобилей, и отсутствием промышленных предприятий.

*Таблица*

**Действие антропогенного загрязнения в городе на численность почвенных бактерий, усваивающих органический и минеральный азот в 2021 г. (КОЕ, млн/г а.с.п., слой почвы 0–20 см)**

Вариант	Бактерии, усваивающие органический азот (Аммонификаторы)	Бактерии, усваивающие минеральный азот
Ул. Д. Ковальчук, Заельцовский р-н Ул.	10.96	7.8
Советская, Центральный р-н	7.84	13.1
Пр-т Лаврентьева, Советский р-н	9.49	14.2
НСР <sub>05</sub>	1.74	3.85
НСР <sub>10</sub>	1.38	3.06
Степень влияния по Снедекору, %	95.8	72.6

По обсемененности иммобилизаторами аммонийного азота почва улицы Дуси Ковальчук тоже существенно отличалась от других точек отбора проб (табл.). По сравнению с почвами пр. Лаврентьева и ул. Советская количество иммобилизаторов здесь было в 1.7-1.8 раза меньше. Степень влияния антропогенного фактора на микрофлору почвы, выявленная методами статистики, составила в исследованиях 72.6%.

Коэффициент минерализации почвенной органики на ул. Советская был на уровне 0.92, на проспекте Лаврентьева 1.49, на ул. Дуси Ковальчук 0.55. Коэффициент рассчитан, как отношение микробов, усваивающих выделенный аммонийный азот (иммобилизаторов аммонийного азота), и аммонификаторов (Мишустин, 1972). Таким образом, при большой численности аммонификаторов на ул. Д. Ковальчук скорость разложения органических веществ была здесь подавленной. Повышенной минерализационной активностью характеризовалась почва на проспекте Лаврентьева, вблизи лесопарковой зоны.

Выявлена связь микробоценоза серой лесной городской почвы с антропогенным загрязнением среды, проявляющаяся в изменении активности микроорганизмов, усваивающих органический и минеральный азот. Это свидетельствует о возможности их использования как биотестов загрязнения городской среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

Артамонова В. С., Бортникова С. Б. О состоянии почвенных азотфиксирующих бактерий на территории городского леса // Вестник ПГУ. Биология, 2016. № 2. С. 150159. EDN: [WEIAVT](#)

*Мишустин Е. Н.* Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 343 с.

*Петункина Л. О.* Берёза повислая как индикатор качества городской среды / Л. О. Петункина, А. С. Сарсацкая // Вестник Кемеровского государственного университета, 2015. № 43(64). С. 68–71. EDN: [VAUGKR](#).

*Пицимко О. И., Коробова Л. Н., Побеленская А. А.* Экологическое состояние городской среды Новосибирска по асимметрии листьев // Охрана окружающей среды основа безопасности страны: сборник статей по материалам международной научной экологической конференции, посвященной 100-летию КубГАУ, Краснодар, 29–31 марта 2022 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, 2022. С. 444–447. EDN [CABYIR](#).

*Резников В. А.* Химия азотсодержащих органических соединений: учебное пособие. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т., 2006. 130 с.

## **ЗЕЛЕНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ГОРОДА ВОРОНЕЖ**

**К. А. Плотникова**

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

E-mail: [kristiiu@mail.ru](mailto:kristiiu@mail.ru)

Рост городских агломераций и увеличение численности населения несет в себе различные экономические, информационные и другие преимущества, однако, с точки зрения состояния окружающей среды, такая тенденция приводит к негативным последствиям: загрязнению атмосферного воздуха, подземных вод, почвенного покрова и т.д. Увеличение антропогенной нагрузки на природные компоненты приводит к ухудшению качества окружающей среды и ставит под угрозу здоровье человека (Мощеникова, 2011). В описанных условиях возрастает роль городского озеленения в устойчивом функционировании городских экосистем. Зеленая инфраструктура играет важную роль в борьбе с негативными последствиями урбанизации.

Благодаря своим физиологическим характеристикам, растения обладают способностью накапливать, фильтровать или преобразовывать многие загрязняющие вещества. Зеленая инфраструктура участвует в процессах связывания углерода, снижения запыленности атмосферного воздуха, контроля водного баланса, формирования микроклимата и т.д. Городские зеленые насаждения способствуют рекуперации CO<sub>2</sub>, поддерживая углеродный цикл, уменьшают эффект городских островков тепла за счет удаления углерода и абсорбирования различных загрязняющих веществ, которые накапливаются на поверхностях зданий в городе. Все эти функции, выполняемые растениями, обеспечивают улучшение качества воздуха и регулируют микроклимат. Зеленые насаждения участвуют в циркуляции подземных и поверхностных вод, поглощают шум, запах, проявляя барьерные свойства. Растения выступают в качестве кор-

мовой базы и мест укрытия/проживания элементам живой природы. Благодаря этим особенностям, они обеспечивают защиту видов, а также увеличение и непрерывность наращивания биоразнообразия. Городские зеленые насаждения, в том числе, являются частью мест рекреации, где жителей города могут, например, заниматься спортом, таким образом поддерживают психологическое и физическое здоровье людей.

Элементы озеленения – это природный ресурс, который поддерживает условия жизни общества и улучшает качество жизни городских жителей, и одновременно – экономический ресурс, который повышает привлекательность территории и, при правильном подходе, приносит доход в муниципальный бюджет. Все функции экосистемы делятся на 4 большие группы: обеспечивающие, регулировочные, культурные и поддерживающие. Термин «экосистемные услуги» относится к социально-экономической роли экосистем, которая заключается в принесении пользы людям. Существующая сегодня недооценка экосистемных услуг объясняется сложностью ценностного выражения их различных функций и взаимосвязей. Естественно, невозможно полностью определить экономическую ценность природы, поскольку стоимость товаров, незаменимых для жизни, стремится к бесконечности. В то же время стоимостной показатель этих благ в рыночной экономике является определяющим условием финансовой поддержки сохранения и самовоспроизводства природных экосистем.

Независимо от того, имеет ли каждая отдельная экосистемная услуга цену, она обязательно имеет ценность – способность удовлетворять потребности общества (Russo et al., 2017). Было выявлено, что городская зеленая инфраструктура характеризуется преобладанием регулирующих и культурных экосистемных функций.

Объектом нашего исследования является один из крупнейших российских городов с населением более миллиона человек, а также с достаточно высокими темпами прироста населения – Воронеж – административный центр субъекта федерации России (Воронежской области), основная движущая сила регионального экономического развития. Территория района отличается высокой степенью заселенности и освоенности, благоприятным экономико-географическим положением, развитой инженерно-технической и инженерно-транспортной инфраструктурой. Район имеет благоприятный природный потенциал и сформированную сеть особо охраняемых природных территорий для реализации концепции устойчивого развития.

Но несмотря на все вышесказанное объект исследования все еще сталкивается с множеством экологических проблем и нуждается в ряде проведения мер по благоустройству городской зеленой инфраструктуры. В общем комплексе экологических проблем крупного города особое значение имеют вопросы благоустройства, а именно озеленения городской территории, так как зеленые насаждения являются, с одной стороны, частью планировочной структуры города, а с другой – выполняют ряд важных функций в урбосреде, что значительно повышает их экономическую ценность.

Проблема озеленения на урбанизированных территориях, в частности в г. Воронеж, выражается в сокращении площади зеленых насаждений, негодном состоянии существующих объектов озеленения, низкой мотивации сотрудников к высоко-

му качеству выполняемых работ, растрате и нецелевом использовании бюджетных средств, некорректной эколого-экономической политики городов, что приводит к недостаточной эффективности работ по благоустройству и озеленению территорий.

На основании совокупности данных экомониторинга было проанализировано качество состояния дендрофлоры зон общего пользования г. Воронежа. В результате диагностики хвойных насаждений установлено, что 46% всей территории составляют ослабленные деревья, 50% – сильно поврежденные и 4% – усыхающие и мертвые посадки. Процент деревьев в категории «без признаков ослабления» стремительно снижается с увеличением возраста экземпляра. Корреляция между состоянием зеленых насаждений и категорией насаждения отсутствует. Исключением являются насаждения, расположенные в местах высокой интенсивности движения: на данных участках пагубное влияние агрессивных факторов загрязнения проявляется сильнее всего (Кулагин, 1964).

В ходе исследования была проведена интегративная оценка качества озелененной территории по районам городского округа город Воронеж (табл.), базирующаяся на показателях территориальной обеспеченности зелеными насаждениями, достаточности озелененных пространств с учетом демографической нагрузки на конкретную территорию и динамики наращивания общей площади зеленых насаждений общего пользования за последние 10 лет (2012–2022 гг.).

*Таблица*

**Интегративная оценка районов г. Воронеж (баллы)**

Район города	Критерии оценки			Рейтинг района
	Степень озелененности территории, %	Обеспеченность озелененной территорией общего пользования 1 жителя, м <sup>2</sup>	Динамика прироста площади ЗНОП за последние 10 лет (2012–2022 гг.)	
Железнодорожный	1	3	3	7
Коминтерновский	4	2	4	10
Левобережный	1	2	1	4
Ленинский	2	1	1	4
Советский	2	4	4	10
Центральный	3	5	1	9

Примечание. Составлено автором

Анализ озелененных городских территорий показывает, что в настоящее время показатель количество зеленых насаждений, представленных на душу населения, в целом находится в пределах нормы. Общая обеспеченность внутригородскими благоустроенными озелененными территориями ограничена и отличается неравномерностью, особенно в периферийных районах.

По результатам работы было отмечено, что зеленые насаждения Воронежской области являются важным фактором обеспечения благоприятной экологической обстановки за счет реализации социально-экологических функций экосистемы. Роль элементов зеленой инфраструктуры заключается в представлении следующих экосистемных функций и выгод: сохранение естественных местообитаний, поддержание экологического баланса, эстетическая/духовная ценность озелененных территорий, в т.ч. рекреационная значимость. Это говорит о важности культурной роли экосистемных услуг.

Чтобы обеспечить устойчивость в городах, необходимо установить экологический баланс и поддерживать экосистему. Создание рациональных систем природопользования отвечает потребностям общества и необходимому уровню воспроизводства природных ресурсов и охраны окружающей среды. Это главная цель стратегий устойчивого развития регионов. Городские зеленые насаждения выступают в качестве образцов в создании основных компонентов устойчивых городов и пригодной для жизни городской среды.

Городские зеленые насаждения, являясь индикаторами качества экосистем, играют ключевую роль в устойчивом городском развитии благодаря предоставляемым ими экосистемным услугам. Таким образом, зеленая инфраструктура играет решающую роль в обеспечении благоприятной экологической ситуации в регионе.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Кулагин Ю. З.* Дымоустойчивость древесных растений и проблема озеленения и лесовосстановления в промышленных районах Предуралья и Южного Урала: автореф. дис. ... д.б.н. Л.: Бот. инст. им. В. Л. Комарова, 1964. С. 31–97.

*Мощеникова Н. Б.* Оценка экологического состояния зелёных насаждений Санкт-Петербурга: автореф. дис. ... к.б.н. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2011. 19 с.

*Russo A., Escobedo F. J., Cirella G. T., Zerbe S.* Edible Green Infrastructure: An Approach and Review of Provisioning Ecosystem Services and Disservices in Urban Environments // *Agricultural Ecosystem Environment*, 2017. V. 242. P. 53–66.

### ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАКАЗНИКА «ПАРАСЬКИНЫ ОЗЁРА»

**В. В. Резниченко**

ГПЗ «Параськины озёра», Ухта

E-mail: [valerre@inbox.ru](mailto:valerre@inbox.ru)

«Параськины озёра» – памятник природы регионального значения. 4 августа 2021 года на его базе был создан государственный природный заказник федерального значения «Параськины озера» общей площадью 17109.6 га (О создании..., 2021).



На сегодняшний день это место является посещаемым, что негативно сказывается на состоянии мохово-лишайникового покрова. Следует отметить, что лишайники редко встречаются в живом напочвенном покрове леса, так как они плохо переносят присутствие соседних растений, особенно трав и кустарничков (Петров, 1985). Для оценки антропогенной нагрузки на территории заказника было заложено 8 постоянных пробных площадей размером 5x5 м. Внутри каждой пробной площади было заложено 5 учётных площадей размером 25x25 см. В расчёт брались следующие параметры: проективное покрытие, высота и жизненное состояние доминирующих кустистых лишайников, главным образом, ягелей (*Cladonia stellaris*, *Cladonia arbuscula*, *Cladonia rangiferina*). Покрытие (обилие) часто определяют, используя метод сеточек-квадратов размером 10x10 см (Мучник и др., 2011), в данной работе использовалась решётка из пластика размером 25x25 см. Постоянные пробные площади были заложены следующим образом:

- две ППП в местах с максимальной рекреационной нагрузкой заложены в непосредственной близости к беседкам, стендам;
- две ППП в местах со средней степенью рекреационной нагрузки заложены недалеко от автомобильной стоянки;
- две ППП в местах со слабой степенью рекреационной нагрузки заложены на некотором удалении от рекреационных объектов;
- две ППП заложены в фоновых условиях заложены на удалении от рекреационных объектов.

Проективное покрытие лишайников измерялось с помощью решётки размером 25x25 см, которая разделена на 100 квадратов, 1 квадрат принимался за 1%. Результаты измерения величины проективного покрытия кустистых лишайников рода *Cladonia* представлены на рисунке 1.

Проективное покрытие *Cladonia stellaris* уменьшается в градиенте «фон-сильно нарушенные участки», проективное покрытие *Cladonia rangiferina* также уменьшается с увеличением антропогенной нагрузки (рис.1). Обилие лишайника *Cladonia arbuscula*, наоборот, увеличивается и достигает максимума на средне нарушенном и сильно нарушенном участках.

Для оценки антропогенной нагрузки на лишайниковый покров была измерена высота подцелиев лишайников, также оценивалось их жизненное состояние. Так, если таллом целый и не имеет повреждений, лишайнику присваивалась цифра 1 (хорошее), цифра 4 присваивалась в том случае, если таллом сильно раздавлен и втопан в землю. Результаты измерения высоты подцелиев и оценки жизненного состояния лишайников рода *Cladonia* представлено на рисунке 2 и 3.

Высота лишайников уменьшаются с увеличением антропогенной нагрузки, а жизненное состояние ухудшается (рис. 2, 3).

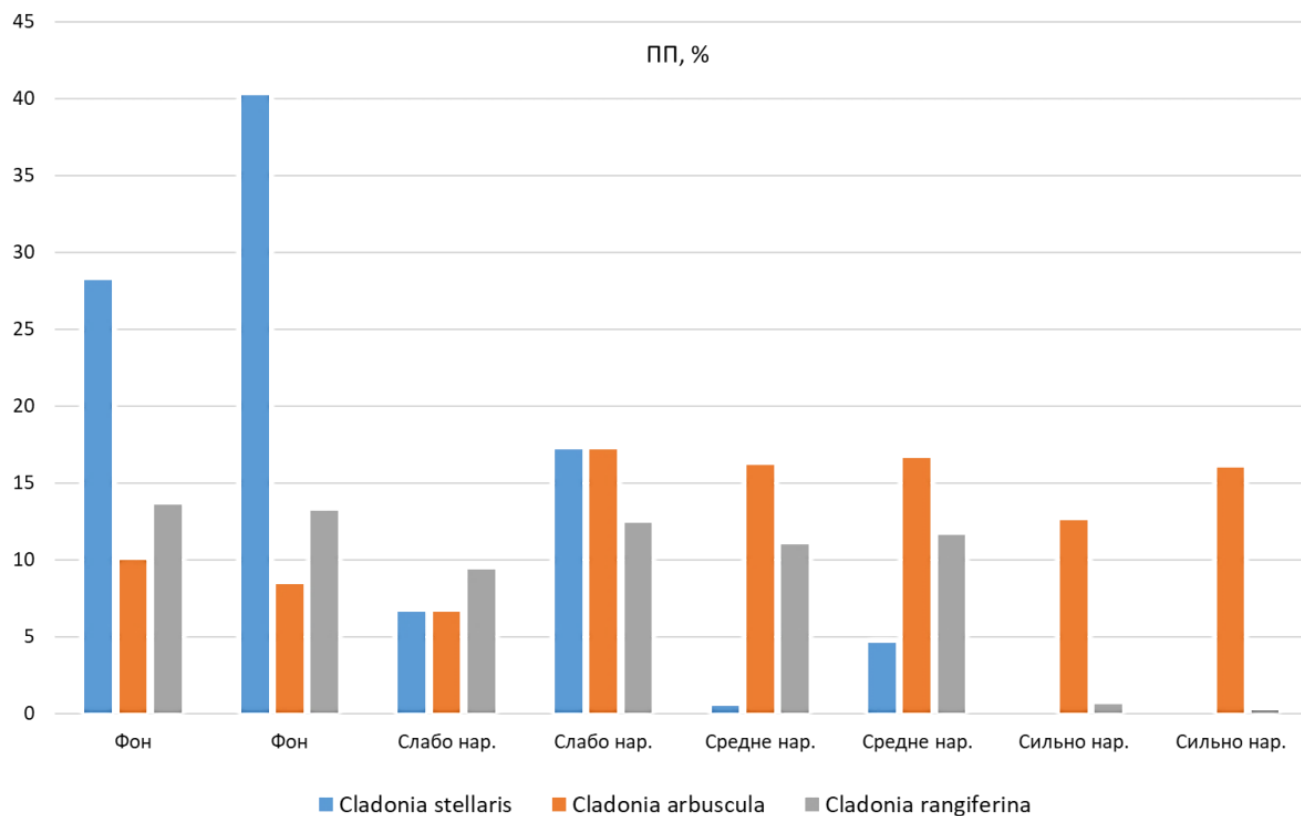


Рис. 1. Проективное покрытие кустистых лишайников рода *Cladonia*.

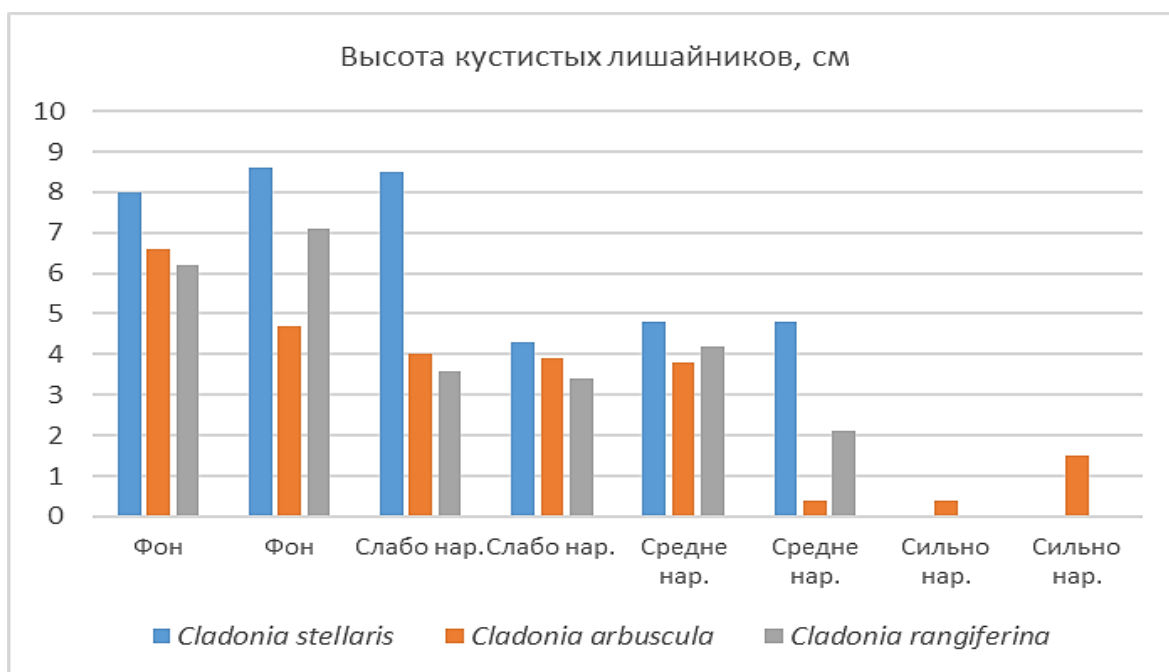


Рис. 2. Изменение высоты ягелей на постоянных пробных площадях.

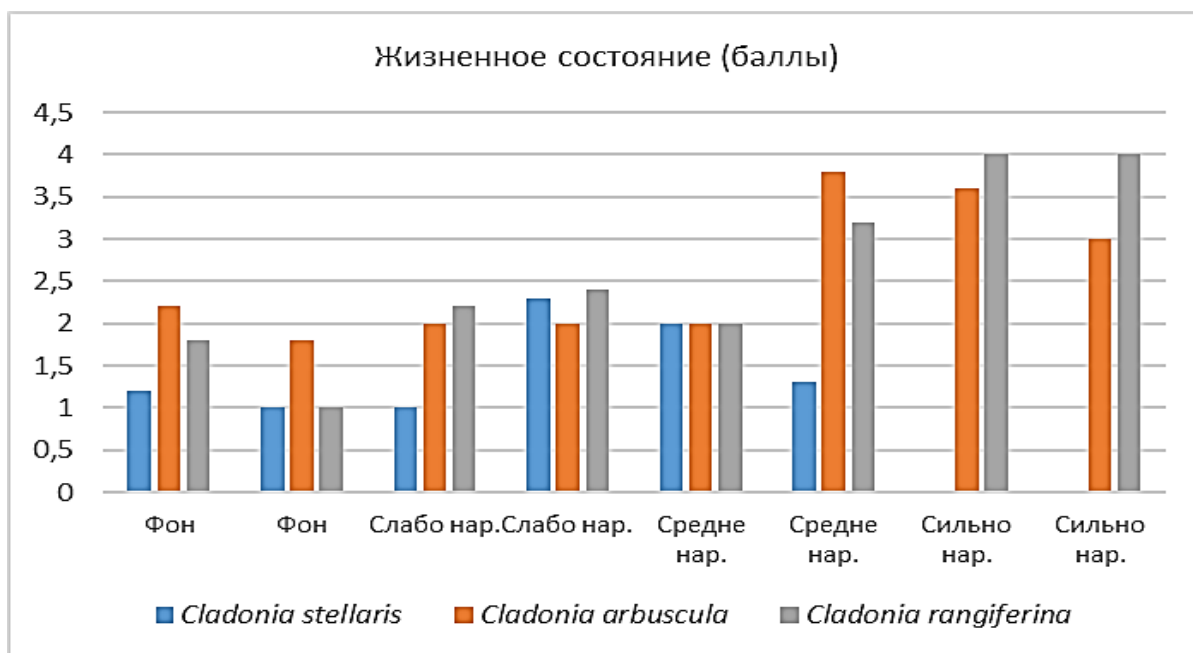


Рис. 3. Изменение жизненного состояния ягелей на постоянных пробных площадях.

По результатам полевых исследований можно сделать вывод, что проективное покрытие ягелей, за исключением *Cladonia arbuscula*, уменьшается с увеличением антропогенной нагрузки, также уменьшается и высота подцеиев. Вытаптывание вызывает вдавливание талломов в землю и обламывание верхушек подцеиев. Помимо этого, рекреационная дигрессия вызывает изменение видового состава лишайников. Так, на фоновом участке преобладают лишайники *Cladonia stellaris* и *Cladonia rangiferina*, на слабо нарушенном участке снижается проективное покрытие *Cladonia stellaris*, на средне и сильно нарушенных участках преобладает лишайник *Cladonia arbuscula*, а на сильно нарушенном участке лишайник *Cladonia stellaris* отсутствует, это связано с тем, что он не выдерживает механического воздействия.

#### ЛИТЕРАТУРА

О создании государственного природного заказника федерального значения «Параськины озера»: постановление правительства Российской Федерации от 4 августа 2021 года № 1301. М., 2021. Режим доступа: <https://base.garant.ru/401587268/>

Мучник Е. Э., Инсарова И. Д., Казакова М. В. Учебный определитель лишайников средней России: Учебно-методическое пособие. Рязань, 2011. 47 с.

Петров В. В. Лес и его жизнь. М.: Наука, 1985. 6 с.

## СТРУКТУРА И СОСТОЯНИЕ СОСНОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ПРИРОДНЫХ И НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Н. С. Рябов, Л. Г. Исаева**

Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ «Кольский научный центр  
Российской академии наук», Апатиты  
E-mail: [n.ryabov@ksc.ru](mailto:n.ryabov@ksc.ru), [l.isaeva@ksc.ru](mailto:l.isaeva@ksc.ru)

Мурманская область – индустриально развитый регион, здесь функционирует ряд предприятий горнопромышленной и горнодобывающей деятельности. Значительный вред окружающей среде причиняет предприятие цветной металлургии АО «Кольская ГМК» комбинат «Североникель» (г. Мончегорск). В связи с интенсивным развитием отраслей промышленности, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, обостряется проблема сохранения лесов. Особенно актуальна эта проблема для регионов Крайнего Севера, где в силу своих биологических особенностей леса отличаются повышенной уязвимостью.

Институтом проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН в 1990-х гг. создана мониторинговая сеть площадок. Площадки постоянного наблюдения (ППН) расположены в сосновых и еловых лесах в фоновых условиях и разной степени нарушенности (Лукина, Никонов, 1998).

Цель исследований: оценить структуру и состояние сосновых фитоценозов в природных и нарушенных лесных экосистемах.

На ППН каждой закладывались круговые площадки площадью 100 м<sup>2</sup> в 4-х повторностях, осуществлялся сплошной пересчет деревьев и подроста с измерением высоты и диаметра. Категории жизненного состояния деревьев определяли по 6 балльной шкале (Ярмишко, 1990). Индекс состояния определяли как средневзвешенную величину, учитывая 6 категорий состояния (Правила..., 2020). Деревья менее 5 см в диаметре относили к подросту. Характеристика, расположение ППН сосновых фитоценозов и распределение деревьев по категориям состояния представлены в таблицах 1 и 2.

*Таблица 1*

**Характеристика древостоя на ППН сосновых фитоценозов**

ППН	Расстояние от комбината «Североникель»	Состав древостоя	Возраст древостоя, лет	Степень дефолиации, %	Количество деревьев, шт/га
23–98	175 км на ЮЗЗ	9С1Б ед. Е	160–180	до 5	2725
М1К4	48 на Ю	10С	80–100	10–12	3725
М1К5	30 км на ЮЮВ	9С1Б	100–120	18–20	4950
М1К7	10 км на Ю	10С ед. Б	80–100	26–28	2950

Распределение деревьев по категориям жизненного состояния

ППН	Порода	Средние живых деревьев		Категория состояния						Валож, бурелом	Всего живых / усохших деревьев на ППН
		h, м	d, см	1	2	3	4	5	6		
23–98 (фон)	Сосна	14.4	19.6	18	28	27	5	0	16	2	78 / 16
	Береза	9.5	10.3	5	2	2	2	0	2	1	11 / 2
	Ель	11.0	12.0	1	1	0	0	0	0	0	2 / 0
M1K4	Сосна	8.5	10.3	78	51	17	0	0	3	0	146 / 3
M1K5	Сосна	9.9	11.9	117	44	12	1	0	4	4	174 / 4
	Береза	5.8	7.4	11	9	0	0	0	0	0	20 / 0
M1K7	Сосна	7.1	10.9	47	34	14	2	0	12	12	97 / 12
	Береза	6.2	10.6	3	3	0	0	0	0	3	6 / 3

Примечание. h – средняя высота, d – средний диаметр.

**ППН 23-98.** Фоновые условия. Сосняк лишайниково-кустарничково-зеленомошный. Древесный ярус представлен *Pinus sylvestris* L., *Betula pubescens* Ehrh. s. l., единично встречается *Picea obovata* Ledeb. Подрост состоит из сосны, березы и ели. Количество соснового подроста равно 800 шт/га, степень его усыхания составляет 6%. Большая часть подроста сосны приходится на мелкий и средний (высотой от 0.28 до 1.5 метров), есть единичные случаи более высоких экземпляров (до 3.5 м). Общее покрытие ППН растительностью составляет 90100%. На площадке выявлены следы давнего пожара, возраст которого не установлен. По санитарному состоянию насаждение относится к сильно ослабленному, с нарушенной устойчивостью (табл. 3).

**ППН M1K4.** Дефолирующие леса. Сосняк кустарничково-лишайниковый. Древесный ярус представлен *Pinus sylvestris*. Подлесок отсутствует. В подросте сосна, единично встречается ель. Численность соснового подроста 9000 шт/га, степень усыхания составляет 13.6%, максимально подрост поврежден язвенным раком. Около 40% подроста сосны имеет высоту до 1.5 м, максимальная высота – 8.6 м. Общее покрытие растительностью – 90–100%. На площадке были выполнены рубки ухода (осветление), порубочные остатки сложены в кучи, которые заросли лишайниками и кустарничками. Санитарное состояние древостоя – ослабленное, насаждение устойчивое (табл. 3).

**ППН M1K5.** Дефолирующие леса. Сосняк лишайниково-кустарничковый. Древесный ярус сложен сосной, березой, единично встречается ель. Подрост представлен сосной, березой, елью и осинкой. Сосновый подрост в количестве 9275 шт/га имеет степень усыхания 23.5%, большая часть подроста повреждена снежным шютте. Подрост сосны варьирует от 0.03 до 8.5 м, 68% подроста составляют сосенки высотой до 1.5 м. Общее покрытие площадок растительностью 80–90%. На ППН выяв-

лены следы давнего пожара. Санитарное состояние – ослабленное, насаждение относится к 1 классу устойчивости (табл. 3).

Таблица 3

## Состояние сосновых насаждений на ППН

ППН	Индекс состояния насаждения	Степень усыхания, %	Текущий отпад, %	Класс биологической устойчивости состояния насаждения (по Воронцов и др., 1991)
2398 (фон)	2.83	22.3	5.3	II класс – с нарушенной устойчивостью
М1К4	1.67	2.0	0.0	I класс - устойчивое
М1К5	1.51	2.8	0.6	I класс - устойчивое
М1К7	1.98	12.8	1.8	II класс – с нарушенной устойчивостью

**ППН М1К7.** Техногенное сосновое кустарничковое редколесье. Древесный ярус состоит из сосны и березы, единично встречена ель. В подлеске *Juniperus sibirica* Burgsd. и *Salix caprea* L. подрост представлен сосной, березой и елью, высота варьирует от 0.17 м до 4.12 м. Количество соснового подроста – 2025 шт/га, степень его усыхания – 13.9%. Общее покрытие растительностью 6080%. Редкое расположение сосен на площадке дает большее освещение. На ППН отмечены следы давнего пожара. Санитарное состояние насаждений – ослабленное, с нарушенной устойчивостью (табл. 3).

Таким образом, по мере приближения к источнику загрязнения отмечается уменьшение доли общего покрытия растительностью, увеличение степени дефолиации древостоя и степени усыхания соснового подроста.

## ЛИТЕРАТУРА

Воронцов А. И., Мозалевская Е. Г., Соколова Э. С. Технология защиты леса. М.: Экология, 1991. 304 с.

Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1998. 316 с.

Правила санитарной безопасности в лесах: постановление Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047. М., 2020. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573053313?marker=6540IN>

Ярмишко В. Т. Состояние сосновых древостоев // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: 1990. С. 104–109.

## ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ 1-го КЛАССА ОПАСНОСТИ В ПОЧВАХ ГОРОДА УХТА

**Е. А. Скребенков<sup>\*,\*\*\*</sup>, Е. Ю. Кряжева<sup>\*\*</sup>, Е. М. Лаптева<sup>\*\*\*</sup>**

<sup>\*</sup>Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, Сыктывкар

E-mail: [evgeniigskrebenkov@mail.ru](mailto:evgeniigskrebenkov@mail.ru)

<sup>\*\*</sup>Ухтинский государственный технический университет, Ухта

E-mail: [eremina\\_83@mail.ru](mailto:eremina_83@mail.ru)

<sup>\*\*\*</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [elena.lapteva.60@mail.ru](mailto:elena.lapteva.60@mail.ru)

Современные города – это в разной степени преобразованные человеком природные ландшафты, испытывающие огромное воздействие техногенного фактора. Городская среда характеризуется повышенным содержанием всех известных поллютантов (Алексеевко, Алексеевко, 2013). Из всего многообразия этих веществ особого внимания заслуживают тяжелые металлы (ТМ), интенсивно используемые человеком во многих отраслях его хозяйственной деятельности и в разных формах активно поступающие в окружающую среду. В почвах городов происходит их активная аккумуляция и трансформация, и в некоторых случаях миграция в сопредельные среды. К числу приоритетных ТМ, за содержанием которых рекомендован постоянный контроль в разных средах, относятся Pb, Cd, As, Hg, Zn.

Цель данной работы заключалась в оценке содержания некоторых тяжелых металлов (Pb, Cd, As, Hg, Zn) в почвах города Ухта.

Для реализации поставленной цели летом 2017 и 2018 годов методом конверта из верхних горизонтов были отобраны почвенные образцы в точках, соответствующих разным функциональным зонам города. В транспортной и промышленной зонах были отобраны образцы из 10 точек в каждой, в селитебной – из 16 точек, в рекреационной зоне – из 8 точек. Всего было исследовано 44 точки. Почвы анализировали в соответствии с общепринятыми методами в отделе почвоведения и экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ Уро РАН. Определяли валовое содержание ТМ и содержание их подвижных форм, а также содержание углерода органических соединений методом Тюрина с фотометрическим окончанием (Теория и практика..., 2006) и кислотность почв в KCl-вытяжке ( $pH_{KCl}$ ) – потенциометрически в соответствии с ГОСТ 26483-85.

Полученные данные сравнили с существующими санитарно-гигиеническими нормативами (СанПиН 1.2.3685–21, 2021), кларками содержаний в верхней части континентальной земной коры (Касимов, Власов, 2015), кларками, установленными для городских почв (Алексеевко, Алексеевко, 2013), а также с фоновыми региональными показателями (Об установлении ..., 2009) (табл. 1).

Таблица 1

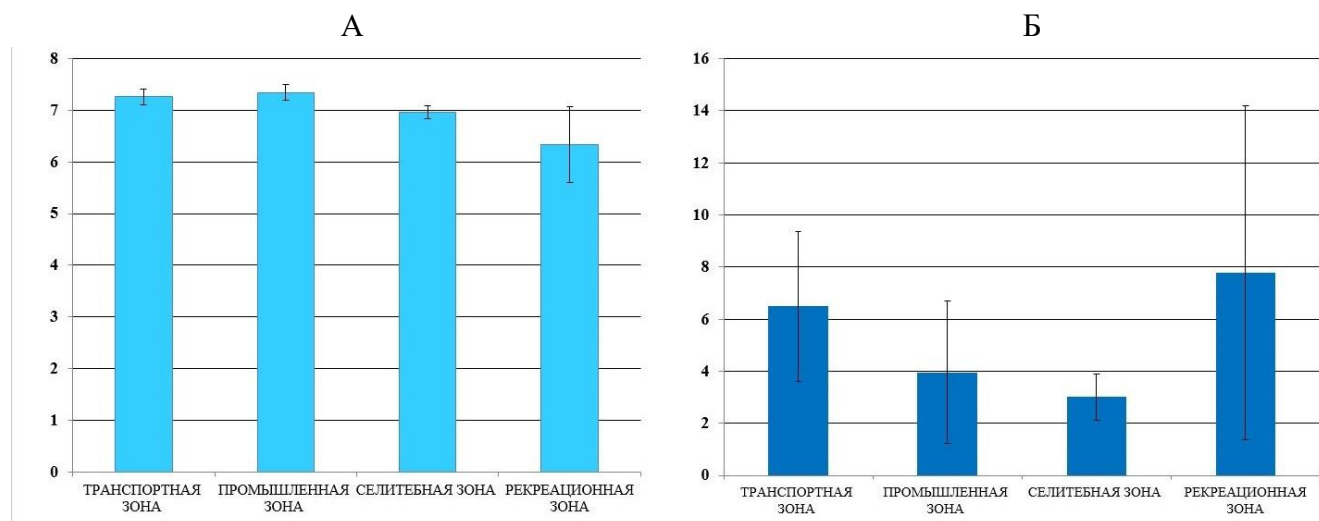
**Количественные значения показателей, используемых для оценки  
уровня загрязнения почв города Ухта**

Показатель	Значение (мг/кг)					Источник
	Pb	Cd	Zn	As	Hg	
Кларк в почвах городов с населением менее 100 тыс. человек	39.5	1.4	92.3	15		Алексеев В. А., Алексеев А. В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. 380 с.
Кларк содержания в верхней части континентальной земной коры	17	0.09	75	5.6	0.065	Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2015. № 2. С. 7–17.
Фоновое содержание в подзолах Сосногорска и Ухты с подчиненными им территориями	4	0.2	28			Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми от 25.11.2009 г. № 529 «Об установлении нормативов фонового содержания химических элементов и углеводов в почвах Республики Коми».
ПДК (содержание подвижных форм / содержание валовых форм)	6/		55/		/2.1	СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
ОДК (валовое содержание)	32	0.5	23	2		

Почвы города Ухта маломощные, сформированы на насыпных грунтах преимущественно из песка и торфа. В рекреационной зоне фрагментарно сохранились естественные почвы, представленные в основном подзолами. Искусственные почвоподобные образования Ухты характеризуются преимущественно нейтральной реакцией почвенных растворов и высокой вариабельностью в содержании углерода органических соединений (от 0.4 до 14%), обусловленной внесением разного количества торфа (рис.).

Средние концентрации всех исследованных элементов представлены в таблице 2. Для транспортной зоны отмечены превышения по санитарно-гигиеническим показателям (ОДК) для цинка (в 1 точке, макс в 1.4 раза) и мышьяка (в 9-и точках, максимум 2.2 раза). Небольшие превышения по кларку в верхней части континентальной земной коры отмечены для кадмия (во всех точках, максимально в 3.4 раза), цинка (1 точка). Превышений с кларком почв для городов с населением менее 100 тыс. человек не установлено.





Кислотность (А) и содержание углерода органических соединений (Б) в почвах города Ухта. Планками погрешности показаны границы доверительного интервала для  $p = 0.95$ .

Таблица 2

Средние значения содержания валовых (I) и подвижных (II) форм тяжелых металлов в почвах города Ухта, мг/кг

Функциональные зоны города	Pb		Cd		Zn		As	Hg
	I	II	I	II	I	II	I	I
Транспортная	8.33	1.44	0.25	0.01	46.8	10.86	3.28	0.02
Промышленная	33.33	5.27	0.36	0.09	67.76	12.61	2.37	0.05
Селитебная	15.63	1.82	0.26	0.02	126.57	17.29	2.78	0.04
Рекреационная	11.90	2.12	0.36	0.08	47.56	1.20	2.31	0.03

Для промышленной зоны установлены превышения по санитарно-гигиеническим показателям для свинца (по ОДК и ПДК в 3-х точках, максимально в 3.4 раза), кадмия (по ОДК в 2-х точках, максимально в 1.2 раза), цинка (по ОДК для 5 точек, а ПДК для 2-х точек, максимально в 3 раза), мышьяка (по ОДК в 7-и точках, максимально в 2.5 раза). Превышения по кларку в верхней части континентальной земной коры отмечены для всех исследуемых металлах (максимально в 3 раза), за исключением мышьяка. Отмечены превышения, по кларку в почвах городов с населением менее 100 тыс. человек, только для свинца и цинка (максимально в 3 раза).

В селитебной зоне наблюдаются превышения по санитарно-гигиеническим показателям (ОДК) для свинца (в 1 точке, максимально в 2.4 раза), цинка (в 4-х точках, максимально в 2.1 раза), мышьяк (в 9-и точках, максимально в 2.2 раза). Превышения по кларку в верхней части континентальной земной коры наблюдаются для свинца (2 точки), кадмия (все точки), цинка (3 точки). Отмечены небольшие превышения, по кларку в почвах городов с населением менее 100 тыс. человек, только для свинца и цинка (по 1-й точке).

В рекреационной зоне превышениями по санитарно-гигиеническим показателям характеризуется кадмий (по ОДК 2 точки в 1.1 раза), цинк (по ОДК 4 точки максимально 2.4 раза, по ПДК 1 точка в 2 раза), мышьяк (по ОДК 5 точек в 2.5 раза). Небольшие превышения по кларку в верхней части континентальной земной коры отмечены для свинца (2 точки), кадмия (8 точек), цинка (3 точки) и ртути (1 точка). Так же отмечены небольшие превышения, по кларку в почвах городов с населением менее 100 тыс. человек только для цинка (3 точки, максимально в 1.4 раза).

Для установления влияния антропогенного фактора, городской аналог природных почв (подзол, в рекреационной зоне), по валовому содержанию сравнили с фоновой концентрацией, установленной для подзолов Ухтинского района. Превышения были отмечены для свинца в 3.7 раза, кадмия в 1.9 раза, цинка в 3.9 раза.

Проведенные исследования позволяют заключить следующее. В целом, почвы города Ухта характеризуются относительно невысоким уровнем загрязнения ТМ. Наибольшее количество превышений наблюдается в почвах промышленной и рекреационной зон, что, может быть связано, с повышенным уровнем техногенной нагрузки (промышленная зона) и, в некоторой степени, с эффектом накопления в малонарушенных почвах рекреационной зоны. Степень превышения фоновых показателей с учетом геохимического фона в почве рекреационной зоны (подзол) свидетельствует о более высоком вкладе антропогенной деятельности в содержание свинца и цинка, и о более низком – в содержание кадмия (геохимический фон).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Алексеев В. А., Алексеев А. В.* Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. 380 с.

ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. М.: Стандартиформ, 2011. 6 с.

*Касимов Н. С., Власов Д. В.* Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия 5. География, 2015. № 2. С. 7–17.

Об установлении нормативов фонового содержания химических элементов и углеводов в почвах Республики Коми: приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми от 25.11.2009 г. № 529. Сыктывкар, 2009. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/446141787>

СанПиН 1.2.3685-21 от 28 января 2021 года N 2. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021. 469 с.

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

ПОДЗОЛИСТЫЕ ПОЧВЫ ЭКОТОНА  
«СРЕДНЯЯ ТАЙГА – ЮЖНАЯ ТАЙГА»

**О. В. Шахтарова\***, **Ю. В. Холопов\***, **С. В. Денева\***,  
**Н. В. Шалагина\*\***, **Е. М. Лаптева\***

\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар  
E-mail: [olga.shakhtarova@mail.ru](mailto:olga.shakhtarova@mail.ru)

\*\*Национальный парк «Югыд ва», Вуктыл

Изучение почвенного покрова территории Республики Коми, выполненное несколькими поколениями почвоведов, подготовка и публикация почвенных карт позволили выявить основные закономерности в географическом распределении почв на территории региона (Состояние изученности..., 1997). Показано, что зональные закономерности четко прослеживаются в первую очередь для почв, занимающих автоморфные позиции: для подзоны северной тайги характерно распространение глееподзолистых почв, средней – типичных подзолистых, южной – дерновоподзолистых (Забоева, 1975; Атлас почв..., 2010). Границы между подзонами имеют определенную протяженность в пространстве, в пределах которых происходит постепенная смена зольных типов растительных сообществ и почв. Такую переходную полосу между двумя биоклиматическими зонами/подзонами можно рассматривать в качестве экотона или экотонной полосы (Соловьева, 2014).

Цель данной работы заключалась в выявлении специфики почв, формирующихся в экотоне «средняя тайга – южная тайга» на территории Республики Коми.

Удобным объектом для проведения исследований явился почвенный покров национального парка «Койгородский» (далее НП «Койгородский»), территория которого находится на юге Республики Коми, в переходной полосе между средней и южной тайгой (Degteva et al., 2022). В 2021-2023 гг. в окрестностях кордонов «Сенюк», «Федоровка», «Матвей-шор» и «Грань» выполнено изучение почв, формирующихся в автоморфных позициях водоразделов и на высоких надпойменных террасах р. Суран и его правобережного притока – р. Мытец под пологом еловых лесов. Для характеристики почв в межкروновых пространствах лесных сообществ закладывали полнопрофильные разрезы, описывали их морфологическое строение, оценивали цветовую окраску генетических горизонтов с использованием цветочных таблиц «Munsell Soil Color Charts».

Обобщение опубликованных и полученных нами данных свидетельствует о том, что на территории НП «Койгородский» в хорошо дренированных условиях на суглинистых почвообразующих породах развиты почвы, которые по строению профиля можно отнести в соответствии с современной классификацией почв России (Классификация и диагностика..., 2004; Полевой определитель..., 2008) к типу – подзолистые, отделу текстурно-дифференцированные почвы.

Под пологом ельников-зеленомошных А. А. Дымовым (2020) и нами описаны почвы, формула профиля которых имеет вид: OELBELBTC. Дифференциация минеральной части почвы на элювиальный (подзолистый) горизонт EL, переходный BEL и текстурно-дифференцированный горизонт BT, характерный для срединной части профиля, осуществляется под влиянием элювиального (подзолистого) процесса. Такие почвы встречаются на территории Республики Коми в подзоне средней тайги (Забоева, 1975). Однако в отличие от подзолистых типичных почв, элювиальный горизонт которых должен иметь однородную белесую окраску (Классификация и диагностика..., 2004; Полевой определитель..., 2008), в почвах НП «Койгородский» элювиальный горизонт EL дифференцирован на два подгоризонта – верхняя часть EL имеет хорошо выраженную белесую окраску (цвет по шкале Манселла – 10YR5/4), нижняя часть EL – палевую (2.5YR6/3). Выявленные при морфологическом описании горизонта EL прокрашивание гумусовыми веществами его верхней части и присутствие Fe-Mn новообразований (конкреции, примазки) позволяют предположить, что такие почвы формируются в условиях периодического поверхностного переувлажнения. Различия в окраске, структуре и свойствах элювиального горизонта требуют уточнения подтиповой принадлежности описанных под пологом ельников-зеленомошных почв.

В лесных биотопах с присутствием трав в напочвенном покрове можно встретить дерново-подзолистые почвы. Такие почвы типичны для почвенного покрова южной тайги (Атлас почв..., 2010). В НП «Койгородский» они встречаются преимущественно в южной части резервата и приурочены к хорошо дренированным участкам водоразделов с еловыми и осиновыми лесам травяного типа. Для профиля дерново-подзолистых почв характерно наличие под грубогумусовой лесной подстилкой Oao маломощного (до 5 см) слабо выраженного гумусоаккумулятивного горизонта AY, богатого гумусовыми веществами и биофильными элементами. Срединная часть профиля дерново-подзолистых почв идентична подзолистым типичным почвам. Таким образом, профиль дерново-подзолистых почв, представленных на территории НП «Койгородский», может быть выражен формулой: OaoAYELBELBTC. Их доля в структуре почвенного покрова резервата незначительна.

В основном, на территории НП «Койгородский» под пологом еловых лесов с папоротничково-хвощово-кисличным и папоротничково-кисличным напочвенным покровом распространены почвы, имеющие строение минеральной части практически аналогичное почвам, развитым под пологом еловых зеленомошных лесов. Однако, в отличие от последних, их органогенный горизонт представлен грубогумусовой лесной подстилкой из остатков трав и опада мелколиственных пород с включением хвои и шишек хвойных деревьев. Их профиль может быть выражен формулой: OaoELBELBTC. В соответствии с современной классификацией почв России (Классификация и диагностика..., 2004; Полевой определитель..., 2008), почвы с таким строением профиля можно отнести к отделу текстурно-дифференцированных, типу подзолистых, подтипу грубогумусовых.

Таким образом, в экотонной полосе «средняя тайга – южная тайга», рассмотренной на примере национального парка «Койгородский», в автоморфной позиции водоразделов на суглинистых почвообразующих породах развиты почвы, относящиеся к отделу текстурно-дифференцированных почв и двум типам – подзолистые и дерново-подзолистые. Специфической особенностью этого экотона является преимущественное распространение подзолистых грубогумусовых почв, которые можно рассматривать в качестве переходного варианта от подзолистых почв, характерных для подзоны средней тайги, к дерново-подзолистым – зональным почвам южной тайги.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

Дымов А. А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. М.: ГЕОС, 2020. 336 с.

Забоева И. В. Почвы. Почвенный покров // Состояние изученности природных ресурсов Республики Коми. Сыктывкар, 1997. С. 7–15.

Атлас почв Республики Коми / Отв. ред.: Г. В. Добровольский, А. И. Таскаев, И. В. Забоева. Сыктывкар, 2010. 355 с.

Забоева И. В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми книжное изд-во, 1975. 344 с.

Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

Соловьева В. В. Что такое «экотон»? // Самарский научный вестник, 2014. № 2(7). С. 116119.

Degteva S. V., Dubrovskiy Yu. A., Dulin M. V., Zheleznova G. V., Kanev V. A., Kirillov D. V., Kosolapov D. A., Kudreavtzeva D. I., Palamarchuk M. A., Pystina T. N., Semenova N. A., Shubina T. P. Rare species of plants and fungi in the «Koigorodskiy» national park (Komi Republic, Russia) // Теоретическая и прикладная экология, 2022. № 3. С. 49–57.

**Секция 4**  
**РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ, ГЕНЕТИКА.**  
**ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ**  
**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ НА ОРГАНИЗМ**

---

**ВЛИЯНИЕ МЕТЕОФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ**  
**СЕРДЕЧНОГО РИТМА СТУДЕНТОВ (20222023 гг.)**

**А. М. Богданова, Е. Ю. Галенина, О. А. Пюрвеев, П. А. Тихоненко**  
Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь  
E-mail: [annuta2607@yandex.ru](mailto:annuta2607@yandex.ru)

Известно, что климатические изменения приводят к значительному росту заболеваемости и смертности населения, при этом одной из наиболее чувствительных и подверженных влиянию со стороны метеофакторов систем организма является сердечно-сосудистая (ССС) и регулирующая её деятельность автономная нервная (АНС) системы. В мировой научной литературе широко представлены исследования по метеочувствительности населения в разные сезоны года, однако особый интерес привлекают волны аномальной жары – период, в течение которого регистрируются максимальные и минимальные значения температуры воздуха, по крайней мере на протяжении 2 дней превышающие 90-й перцентиль месячного распределения. В данной работе представлен фрагмент исследований по изучению возможного влияния аномальных температурных волн на функциональное состояние ССС и АНС студентов.

Цель исследований заключалась в изучении взаимосвязи метеофакторов и показателей, характеризующих состояние систем регуляции сердечного ритма, у практически здоровых студентов в период «волн жары» зимой 2022–2023 гг.

На базе лаборатории медико-экологического мониторинга с оценкой риска выполнили регистрацию variability сердечного ритма (ВСР) у 35-ти практически здоровых студентов 1-го и 2-го курсов Крымского федерального университета (г. Симферополь) в декабре 2022 г. (15.12.–17.12.). Рассчитали, что «волны жары» в этом месяце со среднесуточной температурой выше среднемноголетней на 5°C были зафиксированы в периоды 9–12, 16–18, 24–25.02, при этом 17 декабря отмечен месячный температурный максимум +19.3°C. Следовательно, непосредственно для анализа показателей использовали данные 7-ми юношей и 18-ти девушек (17–22

лет), регистрацию ВСП которых выполнили 16.12.–17.12. Затем провели повторную регистрацию 9–11, 13, 21 февраля 2023 г. у 23-х студентов (2 девушки не участвовали). В дни регистрации в феврале отклонение от нормы среднемесячной температуры колебалось в пределах от  $-6.8^{\circ}\text{C}$  до  $+4^{\circ}\text{C}$  и «волн жары» не зафиксировали. Физиологическое обследование включало регистрацию параметров ВСП (Варикард 2.6, РФ) в состоянии физиологического покоя лежа (5 минут), при проведении пробы с управляемым ритмом дыхания (УРД) (3 минуты) и активной ортостатической пробы (5 минут). Метеопараметры (температура воздуха  $T$ , влажность воздуха  $U$ , скорость ветра  $FF$ , общая облачность  $N$ , атмосферное давление  $P$ ) фиксировали по метеосводкам официальных метеостанций. Статистический анализ проводили в программе StatTech v. 3.0.9 (РФ), распределение оценивали с помощью критерия Шапиро-Уилка ( $p < 0.05$ ), направление и тесноту корреляционной связи между показателями – коэффициента ранговой корреляции Спирмена ( $p < 0.01$ ), значимость различий – критериев Уилкоксона, Фишера, Стьюдента с поправкой Холма, Фридмана, Коновера-Имана.

Анализ основных характеристик ВСП показал в целом их соответствие возрастным нормам, при этом значимых отличий по половой принадлежности не выявили. Для оценки индивидуальных особенностей ВСП определили типы регуляции сердечного ритма (РСР) (Шлык, 2009) на основании анализа величин показателей  $SI$  (стресс-индекс),  $VLF$ ,  $HF$  и  $LF$ , что позволило комплексно оценить взаимодействие симпатического и парасимпатического отделов АНС, вклад автономного и центрального контуров в РСР. При регистрации в декабре в покое у 45% испытуемых отметили умеренное преобладание автономного контура регуляции (УПАР), у 17% – умеренное преобладание центральных механизмов (УПЦР), у 25% – выраженное преобладание центральных механизмов (ВПЦР), у 12% – выраженное преобладание автономной регуляции (ВПАР). В феврале процентное распределение по исходному типу РСР было следующим: УПЦР – 17%, ВПЦР – 26%, УПАР – 52%, ВПАР – 5%. Выраженное преобладание одного из контуров (ВПАР, ВПЦР) может свидетельствовать о напряжении регуляторных систем либо снижении резервных возможностей организма, а у спортсменов также отражать высокий уровень тренированности.

При первой регистрации в декабре в дни «волн жары» при проведении пробы с УРД по сравнению с покоем отметили значимый рост ( $p < 0.001$ ) показателей  $SDNN$ ,  $TP$ ,  $PLF$ ,  $LF$ ,  $LF/HF$  в 1.2–4.5 раз на фоне снижения  $SI$  и  $RHF$  на 30–60% ( $p = 0.002$ ). При проведении ортопробы выявили значимый рост показателей  $ЧСС$ ,  $SI$ ,  $VLF$  и  $PLF$ ,  $LF/HF$  в 1.2–1.4 раз ( $p < 0.05$ ) на фоне снижения  $MxDmn$ ,  $RMSSD$ ,  $SDNN$ ,  $TP$ ,  $pNN50$ ,  $HF$ ,  $RHF$  на 25–93% ( $p < 0.01$ ). Корреляционный анализ выявил значимые связи ( $p < 0.01$ ) только при проведении ортостатической пробы между  $HF_{mx}$  и  $T$  ср/сут,  $T$  мин/сут,  $T$  макс/сут ( $r=0.53$ ),  $U$  ср/сут,  $U$  мин/сут,  $FF$  ср/сут,  $N$  ср/сут ( $r= -0.53$ ).

При повторной регистрации в феврале параметры ВСП достоверно не отличались по сравнению с декабрем. При проведении пробы с УРД по сравнению с поко-

ем отметили значимый рост SDNN в 1.2 раза ( $p < 0.001$ ), при проведении ортостатической пробы выявили значимое снижение ( $p < 0.001$ ) pNN50 в 9 раз, RMSSD, SDNN, TP, HF в 1.2–4 раза на фоне роста показателей ЧСС, SI, LF на 140–220%. Корреляционный анализ выявил значимые связи ( $p < 0.01$ ) между следующими метеопараметрами и показателями ВСП, зарегистрированными в состоянии покоя: U ср/сут, U мин/сут и ЧСС, AMo50, SI, PLF, LF/HF ( $0.59 \leq r \leq 0.76$ ), RMSSD, pNN50, SDNN, TP, HF, VLF ( $-0.73 \leq r \leq -0.62$ ); FF ср/сут, FF макс/сут и ЧСС, AMo50, SI, PLF, LF/HF ( $0.59 \leq r \leq 0.74$ ), RMSSD, pNN50, SDNN, TP, HF, VLF ( $-0.73 \leq r \leq -0.54$ ); P ср/сут, P мин/сут и RMSSD, pNN50, SDNN, HF ( $0.53 \leq r \leq 0.61$ ), AMo50, SI, PLF ( $-0.61 \leq r \leq -0.59$ ); T ср/сут, T мин/сут и ЧСС, AMo50, SI, PLF ( $0.54 \leq r \leq 0.63$ ), RMSSD, pNN50, SDNN, HF ( $-0.62 \leq r \leq -0.53$ ). При проведении пробы с УРД выявили значимые связи ( $p \leq 0.001$ ) между U ср/сут, U мин/сут и AMo50, SI ( $0.63 \leq r \leq 0.83$ ), RMSSD, pNN50, SDNN, TP, HF, LF ( $-0.77 \leq r \leq -0.69$ ); FF ср/сут, FF макс/сут и AMo50, SI ( $0.73 \leq r \leq 0.83$ ), RMSSD, pNN50, SDNN, TP, HF, LF ( $-0.77 \leq r \leq -0.71$ ). Значения P ср/сут, P мин/сут значимо ( $p < 0.01$ ) коррелировали с pNN50, SDNN, HF ( $0.54 \leq r \leq 0.59$ ), AMo50, SI, ( $-0.72 \leq r \leq -0.57$ ); T ср/сут, T мин/сут – с ЧСС, AMo50, SI ( $0.54 \leq r \leq 0.73$ ), RMSSD, pNN50, SDNN, TP, HF, LF ( $-0.62 \leq r \leq -0.53$ ). Между показателями ВСП, зарегистрированными при проведении ортопробы, выявлена значимая связь PLF% и FF макс/сут ( $r = 0.53$ ,  $p = 0.009$ ).

В состоянии покоя и при проведении пробы с УРД корреляционные связи между показателями ВСП и метеоданными выявлены только в феврале, в то время как при проведении ортостатической пробы такие зависимости были выявлены и в дни «волн жары» в декабре. В целом, результаты показали значимое влияние изменений температуры атмосферного воздуха, атмосферного давления, влажности, скорости ветра на состояние центрального и автономного контуров регуляции сердечной деятельности у практически здоровых людей. Для интерпретации характера выявленных связей необходимы дальнейшие исследования.

Полученные результаты свидетельствуют о достаточной чувствительности метода анализа ВСП для выявления ранних эффектов влияния погодных факторов на состояние систем регуляции сердечного ритма практически здоровых юношей и девушек.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Шлык Н. И.* Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск: Изд-во Удмуртский университет, 2009. 259 с.



## ТРАНСКРИПТОМНЫЙ АНАЛИЗ РАСТЕНИЙ *VICIA CRACCA*, ПРОИЗРАСТАВШИХ НА ТЕРРИТОРИИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

**В. С. Воронежская\***, **М. С. Подлущий\***, **Е. А. Казакова\***,  
**Е. М. Шестерикова\***, **П. Ю. Волкова\*\***

\*Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,  
Обнинск

\*\*Независимый исследователь, Гел, Бельгия

E-mail: [voronezhskaya.vs@gmail.com](mailto:voronezhskaya.vs@gmail.com)

Травянистые растения, произрастающие в условиях хронического радиационного воздействия, являются перспективным объектом для изучения механизмов адаптации к многолетней антропогенной нагрузке. Транскриптомный анализ является одним из подходов к выявлению кандидатных генов, обуславливающих устойчивость растений к неблагоприятным условиям.

На территориях зоны отчуждения Чернобыльской АЭС произрастают популяции горошка мышиного (*Vicia cracca* L.). Это многолетнее травянистое растение семейства Бобовые, которое используется как кормовая культура, а также для залужения неудобий и бросовых земель.

Образцы листьев были отобраны на территориях с различным уровнем радиационного загрязнения. Были выбраны два слабозагрязненных (контрольных) участка: Бабчин (В, поглощенная доза 0.29 мкГр/ч), Ломыш (L, поглощенная доза 0.27–0.61 мкГр/ч), и два участка с повышенным радиационным фоном: Кулажин (К, поглощенная доза 1.5–5.0 мкГр/ч) и Масаны (М, поглощенная доза 8.0 мкГр/ч).

Для анализа транскриптома на каждом участке отбирали три образца листовой ткани *V. cracca*. Образцы немедленно замораживали в жидком азоте и хранили в нем до анализа. Тотальную РНК выделяли из 100 мг листовой ткани с использованием GeneJET Plant RNA Purification Mini Kit (Thermo Fisher Scientific, США) по протоколу производителя, первичный анализ качества выделения проводили на спектрофотометре NanoDrop OneC. 12 образцов РНК были переданы в компанию ЗАО «Евроген» для выполнения секвенирования на приборе Illumina NovaSeq 6000 (США), парными прочтениями по 150 пар оснований (п.о.). Общее количество полученных прочтений – 1 090 239 068 п.о.

Для анализа транскриптомных данных была проведена оценка качества полученных прочтений с использованием программного обеспечения FastQC v.0.11.9 и MultiQC v.1.10. Для триммирования прочтений использовали программное обеспечение Trimmomatic v.0.40. Была проведена сборка транскриптома *de novo*, используя ассемблер Trinity v.2.9.1 на бесплатной открытой платформе Galaxy/Europe.

В результате была получена сборка транскриптома, состоящая из 1 217 358 контигов. Для собранных контигов было проведено предсказание открытых рамок

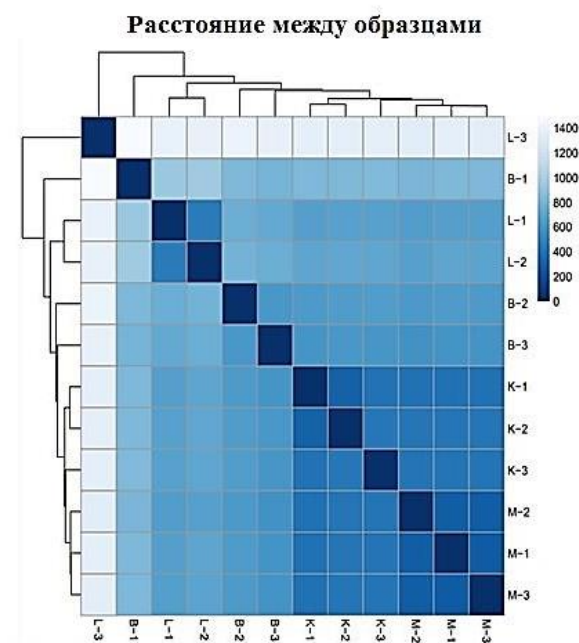
считывания в TransDecoder v.5.5.0. Поиск белковых (blastp) и транслирующих (blastx) мотивов осуществлялся на последовательностях, полученных из базы данных Swiss-Prot. Белковые домены идентифицировались в HMMER v2.2 и Pfam. Функциональная аннотация была проведена в Trinotate v.3.2.2.

Для количественного определения генной экспрессии использовался алгоритм квантификации kallisto v.0.46. Полученные результаты анализировали пакетом статистики R DESeq2. Сравнение производили между опытными и контрольными участками, а также между двумя контрольными участками (Бабчин-Ломыш) для оценки гетерогенности (рис.). Для оценки дифференциальной экспрессии генов были отобраны результаты, соответствующие условиям:

$$|\log_2(\text{Fold Change})| \geq 1$$

$$p - \text{adjusted} \geq 0.05$$

где  $p$ -adjusted – это значение  $p$ -value, скорректированное методом Бенджамини-Хохберга.



Тепловая карта расстояний между образцами (L – Ломыш, B – Бабчин, M – Масаны, K – Кулажин)

В результате были определены гены, экспрессия которых однонаправленно изменялась относительно обоих контрольных участков и не различалась между двумя контролями (Бабчин и Ломыш). Всего было отобрано 457 дифференциально экспрессирующихся генов (ДЭГ) с пониженной и 371 ген с повышенной регуляцией. Инструментом для аннотаций DAVID Bioinformatics были определены значимые термины генной онтологии для генов с повышенной и пониженной регуляцией (табл.).

**Список терминов генной онтологии, определенных для выборки  
дифференциально экспрессирующихся генов на обоих контрольных участках**

Повышенная регуляция		Пониженная регуляция	
GO:0000786	нуклеосомы	GO:0009793	развитие эмбриона, завершающееся состоянием покоя семени
GO:0003677	связывание ДНК	GO:0009534	тилакоиды хлоропластов
GO:0046982	активность гетеродимеризации белка	GO:0009506	плазмодесма
GO:0000976	специфичное для последовательности ДНК связывание с регуляторной областью транскрипции	GO:0009507	хлоропласты
		GO:0009941	мембраны хлоропластов
		GO:0009570	строма хлоропластов
		GO:0009536	пластиды
		GO:0009706	внутренняя мембрана хлоропласта
		GO:0000325	вакуоль
		GO:0003729	связывание мРНК
		GO:0005515	связывание белка

Среди ДЭГ с пониженной регуляцией были определены гомологи генов, участвующих в процессах гликолиза и фотосинтеза (*TKTC\_CRAPL*, *RBS\_MEDSA*, *KPPR\_MESCR*, *PGKH\_WHEAT*, *RCA1\_LARTR*, *THI4\_CITSI*, *PUR5\_VIGUN*, *GLGS2\_VICFA*), а также биогенеза хлоропластов (*PUR5\_VIGUN*, *CHLM\_ARATH*, *FTSII\_ARATH*, *CHLM\_ARATH*, *ISPE\_SOLLC*, *PGL1B\_ARATH*). Гены *ISPE\_SOLLC* и *PUR5\_VIGUN* участвуют в биогенезе тилакоидов, ген *PGL1B\_ARATH* осуществляет регуляцию стрессового ответа на высокий уровень АФК. Его пониженная экспрессия может говорить о снижении порога чувствительности растений к экзогенным АФК. *FTSII* и *CHLM* отвечает за размер и форму хлоропласт. Пониженная экспрессия гена *PGKH\_WHEAT*, чей фермент включен в процесс гликолиза и фотосинтеза, косвенно может быть связана с нарушениями процессов пентозофосфатного цикла, являясь стратегией метаболической корректировки и стабилизации роста (Rosa-Télez et al., 2018). Гены, имеющие отношение к фотосинтезу и гликолизу, также имеют пониженную экспрессию. Известно, что при активной работе электрон-транспортной цепи фотосинтеза образуется эндогенные АФК. Вероятно, пониженная экспрессия этих генов является адаптивным механизмом растений к условиям хронического окислительного стресса.

Среди ДЭГ с повышенной регуляцией отобраны гомологи генов, участвующих в индукции апоптоза (*CEP1\_ARATH*, *ASPG\_LUPAL*, *C3H54\_ORYSJ*), антиоксидантной активности (*FB330\_ARATH*, *PER72\_ARATH*, *GUN4C\_ARATH*, *PERE5\_ARMRU*,

*PALY\_MEDSA*), репарации ДНК (*TOP3A\_ARATH*) и гистонов (*H4\_SOYBN*, *H2A3\_ORYSJ*, *H2B6\_ARATH*). Предположительно, ген *FB330\_ARATH*, кодирующий F-бокс-белок, может участвовать в активации антиоксидантных ферментов (Venkatesh et al., 2020). *PALY\_MEDSA* предположительно отвечает за индукцию синтеза фенольных соединений. Белок GUN4 стимулирует биосинтез хлорофилла путем связывания Mg-хелатазы и порфиринового субстрата. Предполагается, что его ген может участвовать в экранировании порфиринов от активных форм кислорода (Adhikari et al., 2011). Экспрессия гистоновых генов может быть индуцирована в ответ на повышенную концентрацию АФК и направлена на защиту ДНК от повреждений.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 20-74-10004)*

#### ЛИТЕРАТУРА

Adhikari N. D., Froehlich J. E., Strand D. D., Buck S. M., Kramer D. M., Larkin R. M. GUN4-porphyrin complexes bind the ChlH/GUN5 subunit of Mg-Chelatase and promote chlorophyll biosynthesis in Arabidopsis // *The Plant Cell*, 2011. № 4 (23). P. 1449-1467.

Rosa-Téllez S., Anoman A. D., Flores-Tornero M., Toujani W., Alseek S., Fernie A. R., Neubauer S. G., Muñoz-Bertomeu J., Segura J., Ros R. Phosphoglycerate Kinases Are Co-Regulated to Adjust Metabolism and to Optimize Growth // *Plant Physiology*, 2018. № 2 (176). P. 1182–1198.

Venkatesh J. Kang M.-Y., Liu L., Kwon J.-K., Kang B.-C. F-Box Family Genes, LTSF1 and LTSF2, Regulate Low-Temperature Stress Tolerance in Pepper (*Capsicum chinense*) // *Plants* (Basel, Switzerland), 2020. № 9 (9). P. 1186. DOI: 10.3390/plants9091186

### **ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТА ЯГОД БАРБАРИСА ОБЫКНОВЕННОГО (*BERBERIS VULGARIS* L.) НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER***

**Д. А. Голубев, Е. Ю. Платонова, М. В. Шапошников, А. А. Москалев**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [denismeatboy@gmail.com](mailto:denismeatboy@gmail.com)

Старение – это сложный биологический процесс, который связан с накоплением клеточных и молекулярных повреждений, что приводит к снижению физиологических функций и повышению восприимчивости к возрастным заболеваниям (Piper, Partridge, 2018).

Полезное питание становится все более актуальным в мире сегодня, поскольку все больше людей осознают важность здорового образа жизни. Здоровое питание

позволяет снизить риск развития многих хронических заболеваний, таких как ожирение, сердечно-сосудистые заболевания, диабет и некоторые виды рака (Willett et al., 2006) *Berberis vulgaris* L., также известный как барбарис обыкновенный представляет собой растение с красными плодами ягод. Известно, что эти ягоды богаты различными биологически активными соединениями, такими как алкалоиды, флавоноиды и фенольные кислоты, а также антоцианы, которые, как было установлено, обладают широким спектром фармакологических свойств, включая антиоксидантную, противовоспалительную, противомикробную и противораковую активность (Tena et al., 2020). Тем самым, экстракты ягод способны помочь в борьбе со старением и возраст-зависимыми заболеваниями. Показатели жизнеспособности, такие как стрессоустойчивость и локомоторная активность, связаны со старением, поскольку они обычно изменяются с возрастом. В процессе старения организма могут наблюдаться снижение стрессоустойчивости и локомоторной активности, что часто является следствием различных физиологических изменений и накопления повреждений клеток.

*Drosophila melanogaster*, широко известная как плодовая мушка, широко используется в качестве модельного организма для изучения старения и возрастных заболеваний. *D. melanogaster* имеет относительно короткую продолжительность жизни, что делает их идеальным организмом для изучения влияния различных вмешательств на продолжительность жизни.

Целью данного исследования является изучение влияния экстракта *Berberis vulgaris* L на показатели жизнеспособности *D. melanogaster* (устойчивость к гипертермии и уровень двигательной активности).

Сбор материала проводился в осенний период (август–сентябрь) на территории Республики Коми на базе «Научной коллекции живых растений» Ботанического сада Института биологии 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. Самки и самцы жили отдельно по 30 особей в пробирке. Полученные этанольные антоциановые ягодные экстракты доводили 96%-ным этанолом до концентраций 0.01, 0.1, 1, 2.5, 5 и 50 мг/мл. Экстракты в исследуемых концентрациях наносились на поверхность питательной кукурузной среды в объеме 30 мкл. В качестве контроля на среду наносили 30 мкл 96%-ного этанола. Перед анализом стрессоустойчивости мух содержали на среде с добавлением изучаемых концентраций экстрактов в течение 10 суток. Для оценки стрессоустойчивости к гипертермии мух содержали на среде, состоящей из 2%-го агара и 5%-й сахарозы. Все эксперименты проводились в двух-трех повторностях. Возрастные изменения двигательной активности оценивали у мух в возрасте с 1 по 9 неделю с помощью аппаратно-программного комплекса. Мух содержали в пробирках с повышенной прозрачно-

стью. Данные с монитора активности регистрировались в течение 24 часов и представлялись как среднесуточная активность.

Ранее (Голубев и др., 2022) нами было обнаружено, что экстракт барбариса оказывает разнонаправленное влияние на продолжительность жизни в зависимости от концентрации. Наиболее благоприятный эффект наблюдался при концентрации 0.1 мг/мл, увеличивая продолжительность жизни до 6% ( $p < 0.01$ ), в то время как наиболее вредное действие проявлялось при концентрации 50 мг/мл, снижая до 5% ( $p < 0.005$ ).

В данном исследовании мы изучили влияние экстракта барбариса на устойчивость к гипертермии. Было выявлено, что экстракт в концентрации 0.1 и 50 мг/мл увеличивал медианную устойчивость самок к гипертермии на 29 и 57% ( $p < 0.01$ ), соответственно. В то же время у самцов, экстракт в концентрации 50 мг/мл снижал медианную стрессоустойчивость на 44% ( $p < 0.001$ ).

Мы также проанализировали влияние экстракта на двигательную активность дрозофил. Экстракт барбариса не оказал влияние ни на самцов, ни на самок в концентрации 0.1 мг/мл. Однако, в концентрации 50 мг/мл экстракт снижал двигательную активность самок на 4 неделе на 25% ( $p < 0.001$ ), но у самцов увеличивал на 83% ( $p < 0.001$ ).

В результате проведенных исследований было выявлено, что при добавлении экстракта барбариса обыкновенного в концентрации 0.1 мг/мл увеличивалась устойчивость к гипертермии. Экстракт барбариса в концентрации 50 мг/мл увеличивал двигательную активность самцов. Полученные результаты показывают, что экстракт барбариса обладает геропротекторным потенциалом. В связи с данными результатами требуются исследования по изучению экспрессии генов для выявления механизмов действия на продолжительность жизни

*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

Голубев Д. А., Шапошников М. В., Москалев А. А. Влияние экстракта ягод *Berberis vulgaris* на продолжительность жизни и стрессоустойчивость *Drosophila melanogaster* // XXIX Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии», посвященная 60-летию Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (21–25 марта 2022 г.): сб. матер. Сыктывкар: ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2022. Т. 2. С. 138140.

Juan C. A., Pérez de la Lastra J. M., Plou F. J., Pérez-Lebeña E. The Chemistry of Reactive Oxygen Species (ROS) Revisited: Outlining Their Role in Biological Macromolecules (DNA, Lipids and Proteins) and Induced Pathologies // Int J. Mol. Sci., 2021. V. 22(9). P. 4642. DOI: 10.3390/ijms22094642

*Piper M. D. W., Partridge L.* Drosophila as a model for ageing // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease, 2018. V. 1864 (9, Part A). P. 27072717.

*Tena N., Martín J., Asuero A. G.* State of the Art of Anthocyanins: Antioxidant Activity, Sources, Bioavailability, and Therapeutic Effect in Human Health // Antioxidants (Basel, Switzerland), 2020. V. 9(5). P. 451. DOI: 10.3390/antiox9050451

*Willett W. C., Koplan J. P., Nugent R., Dusenbury C., Puska P., Gaziano T. A.* Prevention of Chronic Disease by Means of Diet and Lifestyle Changes // Disease Control Priorities in Developing Countries. 2nd edition. Washington (DC): The International Bank for Reconstruction and Development The World Bank, 2006. P. 421.

## **ВЛИЯНИЕ ТКАНЕВОГО ПРЕПАРАТА «БУРСАНАТАЛ» НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КЛЕТОК МЛЕКОПИТАЮЩИХ**

**А. В. Горшколева, М. В. Улитко**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

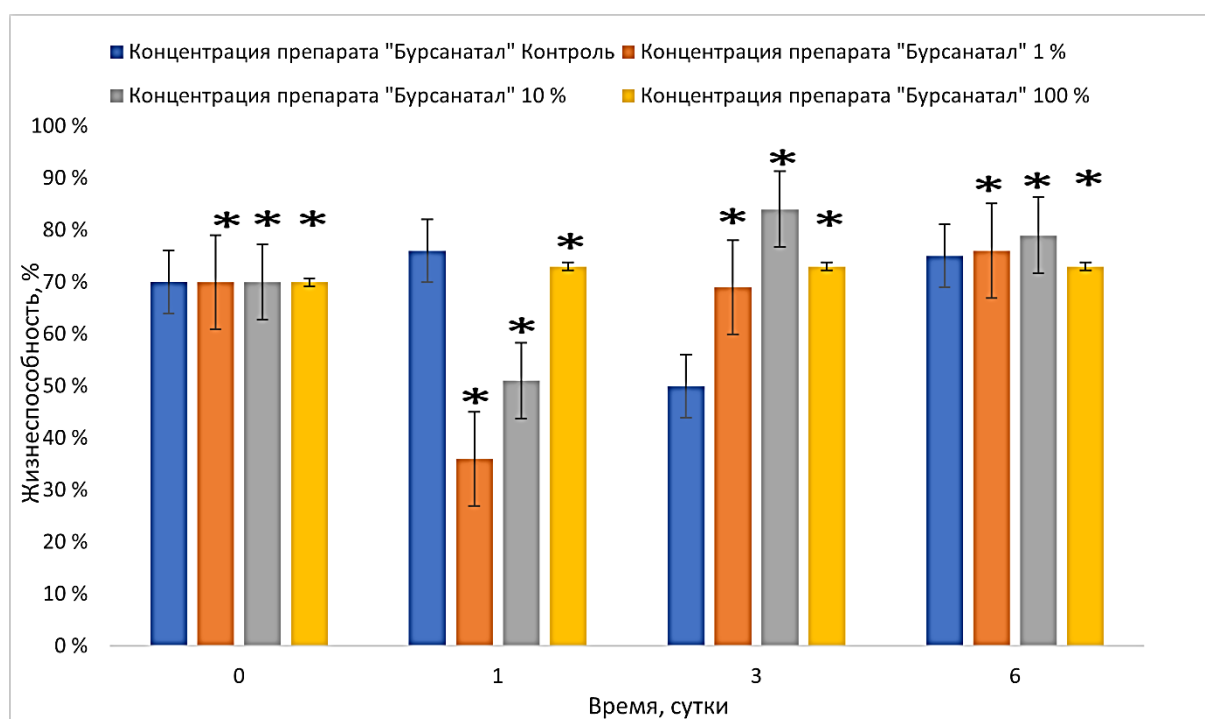
Email: [annagorshkolepova@gmail.com](mailto:annagorshkolepova@gmail.com)

Ежегодно на фармацевтическом рынке появляется множество препаратов иммуномодулирующей природы. Данные препараты могут быть очень эффективны при лечении различных инфекционных, аллергических и даже онкологических заболеваниях. Одним из таких препаратов является «Бурсанатал» – биологически активное вещество, выделенное из фабрициевой бursы цыплят бройлеров. С 2004 года его производят во Всероссийском научном центре по безопасности биологически активных веществ. Данный препарат уже показал свое противоопухолевое действие, в частности, на подкожной мышцей модели рака молочной железы (Кольберг, 2017). Для того, чтобы выпустить препарат на массовый рынок необходимо провести множество доклинических испытаний с целью минимизации возможных побочных эффектов и получения рентабельного результата.

Эксперименты проводились на культурах различных типов клеток млекопитающих. Влияние препарата «Бурсанатал» на жизнеспособность исследовали на культурах дермальных фибробластов человека и перитонеальных макрофагов мышей. Цитотоксическое и антипролиферативное действие препарата в отношении опухолевых клеток оценивали на культуре клеток карциномы молочной железы человека. Для исследования готовый препарат «Бурсанатал» размораживали и добавляли в культуры клеток. Обработка результатов осуществлялась с помощью программ Microsoft Excel и STATISTICA.10. Было вычислено стандартное отклонение и ошибка среднего. Оценку значимости различий между группой

контроля и группой с использованием препарата применяли непараметрический критерий Манна-Уитни. Если уровень значимости  $p \leq 0.05$ , различия между средними значениями считались значимыми.

Составив общий график по всем дням культивирования дермальных фибробластов, было обнаружено, что максимальную пролиферацию вызывает раствор «Бурсанатала» концентрацией 10% на третьи сутки культивирования, при этом сильно ухудшает жизнеспособность клеток раствор «Бурсанатала» с 1% концентрацией на первые сутки культивирования (рис. 1). В целом, препарат «Бурсанатал» не оказывает цитотоксического влияния на фибробласты, однако его растворы могут изменять (увеличивать) проницаемость мембраны клеток в ранние сроки после воздействия.

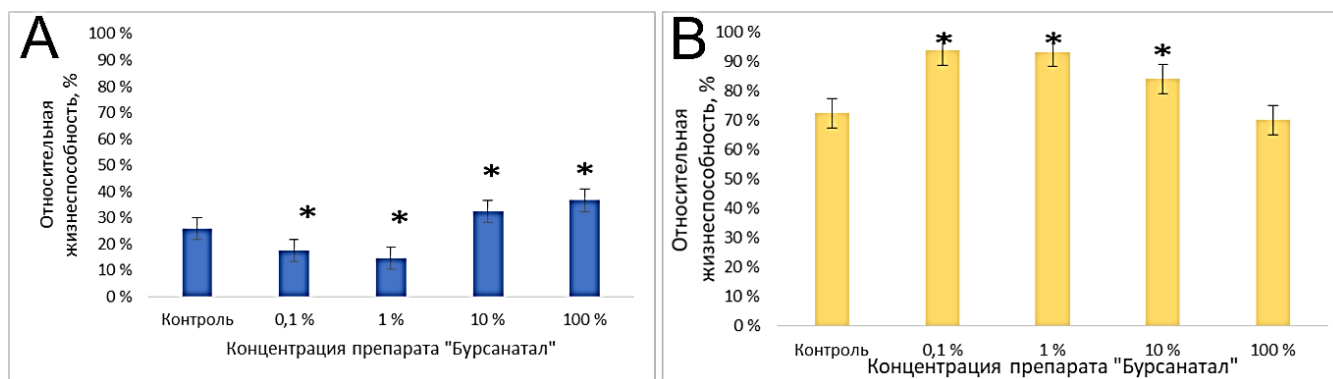


**Рис. 1.** Общий график средних значений жизнеспособности фибробластов с первого по шестой день культивирования: \* – различие с контролем достоверно ( $p < 0.05$ ), границами доверительного интервала показана величина ошибки среднего.

Выявлены статистически значимые различия между группами клеток мышинных макрофагов по относительным показателям жизнеспособности на третьи сутки после введения препарата разных концентрациях (рис. 2 А). Раствор со 100% концентрацией препарата показал максимальное увеличение относительной жизнеспособности макрофагов. Растворы низких концентраций, такие как 0.1% и 1% значительно уменьшают показатели относительной жизнеспособности.

При исследовании жизнеспособности карциномы молочной железы в разных растворах статистически незначимым при сравнении с контролем, оказался чистый 100% раствор. Показатели жизнеспособности относительно контрольного раствора самые высокие в растворе 1% и 0.1% концентрацией препарата.





**Рис. 2.** Различие относительной жизнеспособности макрофагов (А)

и жизнеспособности КМЖ (В) между разными разведениями «Бурсанатала»:

\* – различие с контролем достоверно ( $p < 0,05$ ), границами доверительного интервала показана величина ошибки среднего.

По результатам экспериментов были сделаны выводы о том, что препарат «Бурсанатал» не оказывает влияния на жизнеспособность и не проявляет цитотоксического действия по отношению к дермальным фибробластам человека, однако его растворы могут увеличивать проницаемость мембраны фибробластов в ранние сроки после воздействия. Показано, что влияние препарата «Бурсанатал» на жизнеспособность и морфофункциональную активность иммунокомпетентных клеток зависит от его концентрации. Высокие концентрации препарата повышают, а низкие – снижают жизнеспособность перитонеальных макрофагов в культуре. Растворы препарата «Бурсанатал» стимулируют пролиферативную активность клеток карциномы молочной железы. Пролиферирующий эффект оказывают растворы с низкой концентрацией препарата «Бурсанатал».

## ЛИТЕРАТУРА

*Кольберг Н. А.* Пептидный препарат животного происхождения "Бурсанатал". Его получение, изучение состава и противоопухолевой активности // Медицина и здравоохранение: материалы V международной научной конференции (г. Казань, май 2017 г.). Казань: Бук, 2017. С. 1119.

## СРАВНЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ СТИМУЛЯЦИИ ПРОЛИФЕРАЦИИ РАКОВЫХ И НОРМАЛЬНЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕКА

**А. В. Ермакова, И. О. Велегжанинов**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [ermakova\\_a.v@ib.komisc.ru](mailto:ermakova_a.v@ib.komisc.ru)

Биологические действие ионизирующего излучения в малых дозах остаётся актуальным предметом исследования из-за отсутствия понимания последствий такого

облучения на молекулярно-клеточном уровне, а также из-за сохранения не полной определённости в отношении его рисков для человека. Несмотря на то, что влияние высоких доз ионизирующего излучения на нормальные и раковые клетки хорошо исследованы, биологические аспекты облучения в малых дозах до сих пор остаются спорными. Одним из таких аспектов является изменение скорости пролиферации облучённых клеток. Давно известно, что облучение нормальных, не трансформированных и стволовых клеток человека в культуре, в малых дозах (до 20 сГр) приводит к стимуляции их пролиферации в короткий промежуток времени после облучения (Chen et al., 2014; Wang and Cai, 2000; Li et al., 2004; Suzuki et al., 2001; Kim et al., 2007; Liang et al., 2011). Кроме того, нами ранее было показано, что однократное облучение эмбриональных фибробластов человека в дозе 3 сГр приводит к стимуляции их пролиферации и замедлению клеточного старения спустя 4–7 недель после облучения (Ermakova and Velegzhaninov, 2017; Velegzhaninov et al., 2018). В связи с этим до сих пор открытым остаётся вопрос, может ли однократное облучение в столь малых дозах немедленно или отдалённо стимулировать пролиферацию раковых клеток? Ответ на данный вопрос важен с точки зрения лучшего понимания онкогенного потенциала воздействия ионизирующего излучения в малых дозах, так же остающегося изученным не в полной мере. Существуют исследования, в которых показано, например, что в ответ на облучение в дозах 2–7.5 сГр происходит немедленная стимуляция пролиферации эмбриональных фибробластов 2BS, но не раковых клеток лёгких NCI-H446 (Liang et al., 2016). Кроме того, облучение нормальных эпителиальных клеток молочной железы человека MCF10A в дозе 10 сГр приводит к снижению эффективности KRAS-индуцированной трансформации этой культуры (Kim et al., 2015). Однако представленных исследований очевидно недостаточно, чтобы делать вывод о том, что однократное облучение любых раковых клеток в малых дозах не приводит к немедленной стимуляции их пролиферации, а отдалённые эффекты на пролиферацию и вовсе не изучались. Поэтому в настоящем исследовании поставлена цель – выяснить может ли разовое облучение в малых дозах вызвать немедленную и отдалённую стимуляцию пролиферации раковых клеток.

В работе использовали четыре линии клеточных культур: HeLa (раковая опухоль шейки матки), Нек 293FT (трансформированные клетки почек эмбриона человека), HT-29 (аденокарцинома толстой кишки человека) и A549 (аденокарцинома лёгких человека). Клетки культивировали в среде DMEM/F12 (ООО НПП ПанЭко, Россия), содержащей 10% сыворотки крови эмбрионов телят (FBS) (Thermo Scientific HyClone, UK), без антибиотиков при 37 °С в 5% CO<sub>2</sub> и 95% воздуха. Клетки высевали на флаконы площадью 25 см<sup>2</sup> и давали им возможность прикрепиться к ростовой поверхности в течение ночи, а затем подвергали воздействию  $\gamma$  – излучения в дозах 0 (имитация облучения), 3, 5, 9, 12 и 200 сГр на установке «Исследователь» (<sup>137</sup>Cs). В первые 72 ч и далее трижды через каждые 10 дней после облучения проводили флуориметрический цитотоксический анализ в микрокультурах (FMCA) (Lindhagen et al., 2008). Для этого трипсинизированные клетки рассаживали по 2000

клеток в лунки 96-луночного планшета. Количество клеток в микрокультурах, полученных из одной и той же суспензии, каждый раз анализировали дважды, с интервалом в 72 часа, что позволяло оценить скорость пролиферации клеток.

В результате мы обнаружили, что облучение клеток линий HeLa, рассаженных в микрокультуры из одной и той же суспензии в дозах 5 и 9 сГр, а так же A549 в дозах 9 и 12 сГр приводило к статистически значимой стимуляции пролиферации в первые 72 часа после облучения (табл.). Спустя 14–35 суток после облучения для всех клеточных линий, облучённых в дозах 5, 9 и 12 сГр в той или иной степени прослеживается тенденция к ускоренной пролиферации (табл.). Однако, в отличие от данных в первые 72 часа, данные об отдалённых последствиях облучения носят ориентировочный характер, так как мы столкнулись с рядом технических сложностей при их получении. В частности, мы обнаружили сильную обратную зависимость от изначального стартового количества рассаженных в планшеты клеток, вариации которого неизбежны.

*Таблица*

**Цветовая карта коэффициентов роста культур раковых клеток при облучении малыми дозами ионизирующего излучения**

72 часа после облучения						
	0 сГр	3 сГр	5 сГр	9 сГр	12 сГр	200 сГр
HeLa	11.2	11.4	12.3	12.5	11.3	9.8
Hek239T	9.8	7.9	8.3	9.4	9.3	8.5
A549	9.5	9.1	9.2	10.9	10.6	9.0
HT-29	7.5	7.1	7.3	7.7	7.3	6.9
14 дней после облучения						
HeLa	14.7	19.4	6.1	6.0	13.3	15.8
Hek239T	28.4	18.2	41.1	38.1	33.7	30.9
A549	13.0	15.4	18.3	10.6	12.2	13.3
HT-29	4.4	1.6	2.6	5.6	3.8	3.2
24 дня после облучения						
HeLa	14.9	5.0	19.5	23.5	15.8	16.1
Hek239T	2.7	4.9		11.8	19.2	6.4
A549	10.1	8.4	7.4	8.0	12.8	10.5
HT-29	2.3	3.2	4.2	5.2	3.6	3.4
35 дней после облучения						
HeLa	4.6	5.3	17.8	30.1	26.2	32.1
Hek239T	6.6	9.0	9.2	37.7	71.1	60.9
A549	9.5	10.3	10.2	16.8	20.8	20.8
HT-29	1.7	4.5	1.6			

Таким образом, впервые обнаружена немедленная стимуляция пролиферации раковых клеток HeLa и A549 после облучения в дозах 5–12 сГр, что требует дальнейшего изучения, так как может служить механизмом потенциального повышения риска развития опухолей в ответ на облучение в малых дозах.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600024-5.*

#### ЛИТЕРАТУРА:

*Chen M., Huang Q., Xu W., She C., Xie Z. G., Mao Y. T., Dong Q. R., Ling M.* Low-dose X-ray irradiation promotes osteoblast proliferation, differentiation and fracture healing // PLoS One, 2014. V. 9. № 8. P. e104016. DOI: [10.1371/journal.pone.0104016](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104016)

*Ermakova A. V., Velegzhaninov I. O.* Low-Dose Irradiation of Human Fibroblasts Leads to Delayed Acceleration of Proliferation of Their Progeny // Biophysics, 2017. V. 62. № 5. P. 764768.

*Kim C. S., Kim J. K., Nam S. Y., Yang K. H., Jeong M., Kim H. S., Jin Y. W., Kim J.* Low-dose radiation stimulates the proliferation of normal human lung fibroblasts via a transient activation of Raf and Akt // Molecular Cells, 2007. V. 24. № 3. P. 424430.

*Kim R.-K., Kim M.-J., Seong K. M., Kaushik N., Suh Y., Yoo K.-C., Lee S.-J.* Beneficial effects of low dose radiation in response to the oncogenic KRAS induced cellular transformation // Scientific Reports, 2015. V. 5. № 1. P. 110. DOI: [10.1038/srep15809](https://doi.org/10.1038/srep15809)

*Liang X., So Y. H., Cui J., Ma K., Xu X., Zhao Y., Cai L., Li W.* The low-dose ionizing radiation stimulates cell proliferation via activation of the MAPK/ERK pathway in rat cultured mesenchymal stem cells // J Radiation Research, 2011. V. 52. № 3. P. 380386.

*Liang X., Gu J., Yu D., Wang G., Zhou G., Zhang X. Zhao Y., Chen X., Zheng S., Liu Q., Cai L., Cui J., Li W.* Low-dose radiation induces cell proliferation in human embryonic lung fibroblasts but not in lung cancer cells: Importance of ERK1/2 and AKT Signaling Pathways // Dose-Response, 2016. V. 14. № 1. P. e1559325815622174. DOI: [10.1177/1559325815622174](https://doi.org/10.1177/1559325815622174)

*Li W., Wang G., Cui J., Xue L., Cai L.* Low-dose radiation (LDR) induces hematopoietic hormesis: LDR-induced mobilization of hematopoietic progenitor cells into peripheral blood circulation // Experimental Hematology, 2004. V. 32. № 11. P. 10881096.

*Suzuki K., Kodama S., Watanabe M.* Extremely low-dose ionizing radiation causes activation of mitogen-activated protein kinase pathway and enhances proliferation of normal human diploid cells // Cancer Research, 2001. V.61. P. 53965401.

*Velegzhaninov I. O., Ermakova A. V., Klokov D. Yu.* Low dose ionizing irradiation suppresses cellular senescence in normal human fibroblasts // International Journal of Radiation Biology, V. 94. № 9. P. 825828.

*Wang G.J., Cai L.* Induction of cell-proliferation hormesis and cell-survival adaptive response in mouse hematopoietic cells by whole-body low-dose radiation // Toxicology Sciences, 2000. V. 53. № 2. P. 369376.

## **ВЛИЯНИЕ ЛИГНИНА НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ И РЕПРОДУКТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МЫШЕЙ ЛИНИИ *СВА***

**А. В. Ермакова, О. В. Раскоша, Н. Н. Старобор, Л. А. Башлыкова**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [ermakova\\_a.v@ib.komisc.ru](mailto: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, лигно-сульфонаты и сульфатированные производные и т.д.). Тогда как информация по биологическому действию природных лигнинов представлена не так широко, хотя известна их высокая антиоксидантная, антимицробная 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 – изучить влияние хронического введения лигнина, выделенного из стеблей овса, на эстральные циклы, двигательную активность, эмоциональное и тревожно-подобное поведение у мышей линии *СВА*.

Работа выполнена на самцах и самках мышей линии *СВА* (возраст 5–6 мес 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.ckp-rf.ru/usu/471933/>) в соответствии с «Положением о виварии экспериментальных животных» (протокол № 1 от 24.01.2017). В эксперименте использовали водорастворимый препарат лигнина, полученный из стеблей овса (*Avena sativa*). Раствор лигнина животные получали перорально в концентрации 0.005% в течение 45 суток (*ad libitum*), кумулятивная доза составила 300 мг/кг массы тела животного. Расчет кумулятивной дозы препарата осуществляли с учетом массы тела животных и объема потребляемого ими раствора лигнина за время воздействия. Сразу после окончания воздействия лигнина анализировали поведенческие реакции животных и фазы эстрального цикла у самок.

Для оценки двигательной активности, исследовательского поведения, скорости ориентировочно-исследовательской реакции, эмоциональной реактивности, а также тревожности использовали тесты «Открытое поле» и «Т-образный лабиринт» (Ghafarimoghada et al., 2022). Для самок, в отличие от самцов, характерна ярко выраженная цикличность происходящих у них физиологических процессов, приме-

ром этого является эстральный цикл, который характеризуется закономерными изменениями влагалищного эпителия в зависимости от эндокринных функций яичников (Cora et al., 2015). У самок в течение 3 недель ежедневно брали вагинальные мазки, фиксировали в спирте, окрашивали их по Романовскому-Гимзе и затем проводили цитологический анализ под световым микроскопом БИОЛАМ-Л (Россия) с использованием цифровой камеры МС-12 (ООО «ЛОМО-МА»). По клеточному составу влагалищного мазка самок оценивали продолжительность эстрального цикла и каждой его стадии.

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.

Анализ влагалищного содержимого у половозрелых самок мышей линии *СВА* показал, что хроническое введение лигнина не влияло на длительность эстрального цикла у самок, при этом происходило изменение в соотношении фаз эстрального цикла у опытных животных, которое проявлялось в удлинении фазы эструса за счет укорочения фазы покоя, что может увеличивать вероятность наступления беременности у самок.

При анализе данных в тесте «Т-образный лабиринт» установлено, что самцы, принимавшие лигнин, находились в лабиринте в среднем 187 секунд, а контрольные особи 153 секунды, при этом различие было статистически не значимым. У самок мышей *СВА* наблюдался иной эффект: те самки, которые принимали водный раствор лигнина, оказались более сообразительными по сравнению с контрольными самками (60% самок прошли лабиринт меньше, чем за 60 секунд, в контрольной группе ни одна самка не прошла лабиринт за это время). Полученные результаты свидетельствуют о том, что именно у самок лигнин вызывает повышение тонуса и активности центральной нервной системы, стимулирование ориентировочно-исследовательской реакции, что выражается в активизации поиска и ускорении нахождения выхода из лабиринта.

Результаты теста «Открытое поле» показали, что у самцов, принимавших лигнин горизонтальная и вертикальная активность, а также количество болюсов дефекаций были в пределах контроля. При действии лигнина статистически значимым результатом у самцов стало увеличение количества заглядываний в норки и уменьшение актов груминга, что свидетельствует о повышении исследовательской активности и снижении беспокойства. У самок оценка исследовательской активности (горизонтальной, вертикальной и заглядывание в норки), а также количество болюсов дефекаций не показала статистически значимых различий между контрольной и опытной группами. В тоже время обнаружено, что прием лигнина оказывал на самок так же, как и на самцов анксиолитическое действие, так как количества актов груминга у опытных самок уменьшалось по сравнению с контрольными самками. Сле-

дует отметить, что этот эффект был статистически значимым в случае, если опытные самки находились в фазе покоя (metoestrus и dioestrus;  $p \leq 0.05$ ).

Таким образом, изучение этологических (поведенческих) реакций животных позволило установить эффективность хронического действия лигнина в дозе 300 мг/кг на мышей, которая проявлялась по-разному в зависимости от пола животного: у самок прием лигнина повышал тонус и активность центральной нервной системы и стимулировал ориентировочно-исследовательскую реакцию, а у самцов усиливал исследовательскую активность и снижал уровень беспокойства.

*Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда № 22-13-00196, <https://rscf.ru/project/22-13-00196/>.*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Cora M. C., Kooistra L., Travlos G. Vaginal Cytology of the Laboratory Rat and Mouse // Toxicologic Pathology, 2015. V. 43. № 6. P. 776793.*

*Ghafarimoghadama M., Mashayekha R., Gholamib M., Fereydani P., Shelley-Tremblay J., Kandezi N., Sabouri E., Motaghinejad M. A review of behavioral methods for the evaluation of cognitive performance in animal models: Current techniques and links to human cognition // Physiology & Behavior, 2022. V. 244. P. 115. DOI: 10.1016/j.physbeh.2021.113652*

*Kumar R., Butreddy A., Kommineni N., Guruprasad Reddy P., Bunekar N., Sarkar C., Dutt S., Mishra V. K., Ram Aadil K., Kumar Mishra Y., Oupicky D., Kaushik A. Lignin: Drug/Gene Delivery and Tissue Engineering Applications // International Journal of Nanomedicine, 2021. V. 16. P. 24192441.*

*Lu X., Gu X., Shi Y. A review on lignin antioxidants: Their sources, isolations, antioxidant activities and various applications // International Journal of Biological Macromolecules, 2022. V. 210. P. 716741.*

### **ЭФФЕКТЫ ЭКСТРАКТА ЯГОД ЧЕРНОПЛОДНОЙ РЯБИНЫ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ, СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ И ДВИГАТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ *D. VIRILIS* И *D. KIKKAWAI***

**Н. В. Земская, Н. Р. Пакшина, Е. Ю. Платонова, Д. А. Голубев,  
М. В. Шапошников, А. А. Москалев**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар  
E-mail: [zemnadezhd@gmail.com](mailto:zemnadezhd@gmail.com)

Черноплодная рябина (*A. melanocarpa*) – богатый источник флавоноидов и антоцианов, которые обладают широким спектром положительных эффектов на здоровье и имеют большой геропротекторный потенциал. Ранее нами было показано,

что экстракт ягод рябины черноплодной в концентрациях 0.1, 1 и 5 мг/мл увеличивает показатели продолжительности жизни особей *D. melanogaster* при обработке в возрасте 4–6 недель, а также увеличивает устойчивость дрозophil к окислительному стрессу и голоданию (Platonova et al., 2022). Один из критериев, предъявляемых к геропротекторам, является воспроизводимость результатов на разных моделях, поэтому в нашей работе мы изучили геропротекторные эффекты экстракта ягод аронии в зависимости от концентрации, пола и продолжительности обработки на короткоживущих особях *D. kikkawai* и долгоживущих особях *D. virilis*.

Плоды черноплодной рябины были собраны в августе 2020 г. в Ботаническом саду (Научная коллекция живых растений, № 507428) ИБ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар, Республика Коми). На поверхность питательной среды наносили 30 мкл экстракта в концентрациях 0.1, 1 и 5 мг/мл, в качестве контроля наносили 95% раствор этанола. Первую группу особей *D. kikkawai* обрабатывали на протяжении всей жизни, вторую группу подвергали обработке на протяжении первой недели после вылупления имаго, а третья группа получала экстракт на четвертой неделе жизни. Особей *D. virilis* также обрабатывали на протяжении всей жизни, в первые две недели жизни и на 6–7-й неделе жизни. При изучении влияния экстракта на стрессоустойчивость дрозophil предварительно кормили экстрактом на протяжении 14 сут, а затем подвергали трем видам воздействия: гипертермия (+35 °C), голодание, действие прооксиданта параквата в концентрации 20 мкмоль/л (окислительный стресс). Также изучали влияние экстракта на локомоторную активность дрозophil, где их кормили экстрактом на протяжении всей жизни и проводили измерение двигательной активности раз в неделю.

В результате проведенных экспериментов получили, что обработка экстрактом ягод черноплодной рябины в концентрации 5 мг/мл на протяжении всей жизни снижает медианную и максимальную ПЖ самцов до 7% ( $p < 0.05$ ) и самок до 3% ( $p < 0.05$ ) *D. virilis*, а так же приводит к снижению медианной ПЖ самцов и самок *D. kikkawai* на 21% и 10%, соответственно ( $p < 0.05$ ). При этом, обработка экстрактом в концентрации 0.1 мг/мл на протяжении всей жизни приводит к увеличению максимальной ПЖ самцов *D. kikkawai* до 6% ( $p < 0.05$ ). При обработке экстрактом во всех концентрациях на протяжении первых двух недель жизни дрозophil отмечается увеличение показателей ПЖ у особей обоих полов долгоживущих *D. virilis*, медианная ПЖ увеличивается до 4%, максимальная ПЖ – до 6% ( $p < 0.05$ ). В случае с короткоживущими особями *D. kikkawai* экстракт не оказывал статистически значимого влияния на показатели ПЖ. Обработка экстрактом на 6–7 неделе жизни особей *D. virilis* также приводила к увеличению максимальной ПЖ самцов до 6% ( $p < 0.05$ ), и к увеличению медианной ПЖ самок до 3% ( $p < 0.05$ ), а максимальной ПЖ – до 4% ( $p < 0.05$ ). При обработке экстрактом в концентрации 0.1 мг/мл самцов *D. kikkawai* наблюдали снижение медианной и максимальной ПЖ до 23% и 14%, соответственно ( $p < 0.05$ ), а при обработке экстрактом в концентрации 5 мг/мл медианная и макси-



мальная ПЖ снизились до 8% и 16%, соответственно ( $p < 0.05$ ). На самок *D. kikkawai* такой тип обработки не оказал существенного влияния.

В результате проведения рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса с апостериорным анализом с помощью U-критерия Манна-Уитни было выявлено, что кормление особей *D. virilis* экстрактом повышало устойчивость к голоданию в концентрациях 0.1 мг/мл у самцов и 1 мг/мл у самок, но в концентрациях 1 и 5 мг/мл снижало устойчивость особей обоих полов к окислительному стрессу, а при концентрации экстракта 1 мг/мл снижало устойчивость к воздействию гипертермии. Обработка экстрактом в концентрации 5 мг/мл приводила к увеличению устойчивости самок к окислительному стрессу. Кроме того, обработка экстрактом во всех концентрациях также приводила к увеличению устойчивости самцов к голоданию, но экстракт в концентрации 0.1 мг/мл снижал устойчивость самок к данному типу воздействия. Экстракт ягод не приводил к изменению устойчивости обоих полов *D. kikkawai* к воздействию гипертермии.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для мух *D. kikkawai* и *D. virilis* в основном не выявили воздействия обработки на локомоторную активность. Однако, в одно случае было зафиксировано влияние экстракта ягод черноплодной рябины на двигательную активность самок *D. kikkawai* в концентрации 5 мг/мл ( $p < 0.05$ ).

В результате проведенных исследований выявлено, что экстракт черноплодной рябины по-разному влияет на показатели ПЖ в зависимости от длительности обработки, концентрации, пола мух и модельного организма. Кратковременное кормление дрозофил данным экстрактом может приводить как к увеличению, так и снижению, показателей ПЖ, а обработка на протяжении всей жизни приводит к их снижению. В то же время, полученные нами результаты свидетельствуют, что экстракт черноплодной рябины соответствует основным критериям геропротектора (Platonova et al., 2021): низкая токсичность, минимальные побочные эффекты, увеличение продолжительности жизни разных видов модельных организмов и улучшение качества жизни, кроме того, экстракт повышает устойчивость дрозофил к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» (№ 122040600022-1).*

#### ЛИТЕРАТУРА

Platonova E. Y., Zemskaya N. V., Shaposhnikov M. V., Golubev D. A., Kukuman D. V., Pakshina N. R., Ulyasheva N. S., Punegov V. V., Patov S. A., Moskalev A. Geroprotective effects of ×*Sorbaronia mitschurinii* fruit extract on *Drosophila melanogaster* // Journal of Berry Research, 2022. V. 12. № 1. P. 7392.

Platonova E. Y., Shaposhnikov M. V., Lee H., Lee J., Min K., Moskalev A. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) extracts in terms of geroprotector criteria // Trends in food science & technology, 2021. V. 114. P. 570584.

## ВЛИЯНИЕ СУБЛЕТАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХЛОРФЕНАПИРА НА АКТИВНОСТЬ ЭСТЕРАЗ *MUSCA DOMESTICA* L.

**А. Г. Кинарейкина, К. Ю. Маслакова, Л. Я. Янгирова**

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ТюмНЦ СО РАН, Тюмень  
E-mail: [kinareickina@yandex.ru](mailto:kinareickina@yandex.ru)

Карбоксилэстеразы (неспецифические эстеразы, СаЕ) – ферменты семейства  $\alpha/\beta$ -гидролаз, катализирующие гидролиз сложных эфиров карбоновых кислот до составляющих их спиртов и кислот. СаЕ играют значительную роль в метаболизме и последующей детоксикации многих агрохимикатов, в частности, гидролизуют пиретроиды, стехиометрически связываются с карбамидами и фосфорорганическими соединениями (Wheelock et al., 2008).

Цель исследования состояла в оценке влияния сублетальных концентраций хлорфенапира на активность различных изоформ неспецифических эстераз имаго *Musca domestica* L.

В данной работе была использована чувствительная лабораторная линия *M. domestica* L. На имаго осуществляли кишечное воздействие хлорфенапиром (опыт) в сублетальных концентрациях (для самок – 0.025%, для самцов – 0.015%) или чистым ацетоном (контроль) методом группового кормления (МУ 3.5.2.1759-03). Из особей каждой группы имаго готовили гомогенаты. Полученный после центрифугирования супернатант использовали для определения эстеразной активности колориметрическими методами по скорости гидролиза специфичного субстрата (Ministry of Health of Brazil..., 2006). Отслеживали три изоформы СаЕ – СаЕ-1 ( $\alpha$ -эстераза), СаЕ-2 ( $\beta$ -эстераза) и СаЕ-3, их классифицировали в соответствии с субстратной специфичностью, соответствующей гидролизу 1-нафтилацетата ( $\alpha$ -НА), 2-нафтилацетата ( $\beta$ -НА), *p*-нитрофенилацетата (*p*-НРА) соответственно. Также определяли концентрацию белка по Лоури (Lowry et al., 1951), используя бычий сывороточный альбумин в качестве стандарта. Статистический анализ результатов определения активности эстераз проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) и критерия Тьюки для множественных сравнений при помощи пакета программ Statistica 13.3 (StatSoft, Россия). Полученные в ходе работы результаты представлены в таблице.

Имеется множество свидетельств о том, что изоформы эстераз вносят различный вклад в процесс детоксикации инсектицидов. Например, в работе Barrios S. с

соавторами в популяции табачного червя *Heliothis virescens*, устойчивой к циперметрину, была отмечена более высокая активность  $\alpha$ -эстеразы по сравнению с восприимчивой популяцией (Barrios et al., 2010). В текущей работе было отмечено, что  $\alpha$ -эстеразная активность у самцов *M. domestica* L. после инсектицидного воздействия хлорфенапиром уменьшилась в 1.69 раз по сравнению с контрольной группой, у самок  $\alpha$ -эстеразная активность осталась без изменений (табл.). Снижение активности изофермента у самцов и неизменная активность у самок, может быть проявлением полового диморфизма и отражением большей чувствительности самцов к инсектициду, чем самок.

Таблица

Эстеразная активность у имаго *Musca domestica* после воздействия хлорфенапиром в сублетальной концентрации (M $\pm$ SE)

Группы		n	Субстрат фермента, единицы активности		
			$\alpha$ -NA	$\beta$ -NA	$\rho$ -NPA
			мкг субстрата/мин/мг белка		$\Delta$ Abs/мин/мг белка
Контроль (ацетон)	самки	10	1.472 $\pm$ 0.194 <sup>a</sup>	1.034 $\pm$ 0.164 <sup>ab</sup>	0.309 $\pm$ 0.029 <sup>a</sup>
	самцы	10	1.328 $\pm$ 0.211 <sup>a</sup>	0.833 $\pm$ 0.157 <sup>a</sup>	0.178 $\pm$ 0.018 <sup>b</sup>
Хлорфенапир	самки	10	1.202 $\pm$ 0.055 <sup>ab</sup>	1.932 $\pm$ 0.115 <sup>c</sup>	0.371 $\pm$ 0.013 <sup>a</sup>
	самцы	10	0.786 $\pm$ 0.044 <sup>b</sup>	1.347 $\pm$ 0.079 <sup>b</sup>	0.232 $\pm$ 0.012 <sup>b</sup>

Примечание. n – объём выборки;  $\Delta$ Abs – изменение абсорбции; величины, отмеченные разными буквами, отличаются статистически значимо согласно критерию Тьюки ( $p \leq 0,05$ ).

В работе Carvalho S. M. с соавторами (2013) после воздействия дельтаметрина и спиносада на *Apis mellifera* L. активность СаЕ-2 ( $\beta$ -эстеразы) увеличивалась. В текущем исследовании также было обнаружено увеличение  $\beta$ -эстеразной активности *M. domestica* L. как у самок в 1.87 раз, так и у самцов в 1.62 раза после воздействия хлорфенапиром (табл.), что может говорить об участии изофермента в детоксикации хлорфенапира.

В данной работе обнаружены статистически достоверные различия в активности изофермента по полу как в контроле, так и в опыте, но воздействие инсектицидом не повлияло на активность эстеразы *M. domestica* L. в отношении  $\rho$ -NPA (таблица), что свидетельствует о том, что эстераза непосредственно не участвует в детоксикации ксенобиотика. В исследовании Carvalho S. M. с соавторами (2013) при воздействии дельтаметрина на *A. mellifera* L. также не было обнаружено никакой существенной модуляции активности СаЕ-3.

Таким образом, были обнаружены независимые паттерны активности для 3 изоформ СаЕ у имаго *M. Domestica* L. После воздействия сублетальных концентраций хлорфенапира (для самок – 0.025%, для самцов – 0.015%), поэтому каждая изоформа СаЕ может играть роль биомаркера. В связи с этим в дальнейшей работе возможно более детальное исследование причин изменений активности изоформ СаЕ у

имаго *M. Domestica* L. – качественные (экспрессия конкретных изоформ) и/или количественные (уровень экспрессии генов).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта №122122800052-9.*

#### ЛИТЕРАТУРА

МУ 3.5.2.1759-03. Методы определения эффективности инсектицидов, акарицидов, регуляторов развития и репеллентов, используемых в медицинской дезинсекции: методические указания. утв. гл. гос. сан. врачом РФ 28.09.2003. Москва: Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора, 2004. 64 с.

*Barrios S., Zerba E., Picollo M. I. Audino P. G.* Activity of increased specific and non-specific esterases and glutathione transferases associated with resistance to permethrin in *Pediculus humanus capitis* (phthiraptera: pediculidae) from Argentina // *Parasitol Res.*, 2010. V. 106. P. 415–421.

*Carvalho S. M., Belzunces L. P., Carvalho G. A., Brunet J.-L., Badiou-Beneteau A.* Enzymatic biomarkers as tools to assess environmental quality: A case study of exposure of the honeybee *Apis mellifera* to insecticides // *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2013. V. 32(9). P. 2117-2124.

*Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L., Randall R. J.* Protein measurement with Folin phenol reagent // *J. Biol. Chem.*, 1951. V. 193 (1). P. 265–275.

Ministry of Health of Brazil. Quantification methodology for enzyme activity related to insecticide resistance in *Aedes aegypti*. Ministry of Health of Brazil, Fundação Oswaldo Cruz. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 128 p.

*Wheelock C. E., Phillips B. M., Anderson B. S., Miller J. L., Miller M. J., Hammock B. D.* Applications of Carboxylesterase Activity in Environmental Monitoring and Toxicity Identification Evaluations (TIEs). // *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008. V. 195. P. 117–178.

#### **ВЛИЯНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА ОСНОВЕ ХЛЕБНЫХ ЗЛАКОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ DROSOPHILA MELANOGASTER**

**Д. В. Кукумань, Н. В. Земская, Н. С. Уляшева, Д. В. Яковлева, Н. Р. Пакшина,  
Е. Ю. Платонова, Д. А. Голубев, М. В. Шапошников, А. А. Москалев**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [kukuman@ib.komisc.ru](mailto:kukuman@ib.komisc.ru)

Пищевые потребности человека в основном зависят от растительной пищи. Во всем мире хлеб и продукты питания на основе хлебных злаков являются основным

рационом человека. К хлебным злакам относятся: пшеница, рожь, овес, ячмень и тритикале. Злаковые культуры обеспечивают население мира основным источником углеводов, белков, клетчатки, витаминов группы В и минералов, которые могут способствовать здоровому питанию. (Laskowski et al., 2019; McKeivith, 2004). Таким образом, среди потребителей возрос интерес к питательным и функциональным продуктам питания из злаковых культур. В настоящее время нами ведется работа по выявлению новых сортов злаков, благоприятно влияющих на показатели здоровья человека.

Объектом исследования являются более 70 цельнозерновых образцов хлебных злаков, из них 15 видов пшеницы (род *Triticum*), 1 образец ржи (*Secale* sp) и 2 образца тритикале (*×Triticosecale* sp)). Все образцы предоставлены с делянки № 2021 Дагестанской опытной станции Федерального исследовательского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (Дербент, Россия). Одной из наиболее перспективных моделей для изучения эффектов диеты на основе биологически активных веществ является плодовая мушка *Drosophila melanogaster*. Данная модель сочетает высокую степень изученности систематики, физиологии, генетических основ и биологических механизмов старения с короткой продолжительностью жизни, возможностью контролировать условия содержания и простотой культивирования. Помимо этого, рацион питания плодовой мушки можно изменять в широких пределах, тем самым регулируя потребление белков, жиров и углеводов (Lüersen et al., 2019).

Целью данной работы является нутрициологическое исследование хлебных злаков на модели *D. melanogaster*. Для выполнения этой цели нами были поставлены следующие задачи: (1) провести высокопроизводительный нутрициологический скрининг 70 образцов разных видов хлебных злаков на выживаемость *D. melanogaster* в условиях повышенной температуры содержания (+29 °С) и выделить диеты с наибольшим положительным эффектом для дальнейших исследований; (2) изучить влияние диеты из выделившихся образцов пшеницы на продолжительность жизни *D. melanogaster*.

Статистический анализ результатов выживаемости позволил выявить образцы хлебных злаков, оказывающих наибольший положительный эффект на выживаемость. Существенное увеличение медианного (до 37%,  $p < 0.05$ , точный критерий Фишера) и максимального (до 18%) времени выживаемости самцов *D. melanogaster* наблюдали при содержании на диете из муки Линии ДЗ АМА (*T.durum*), Линии 2 (*T.dicoccum*), 1222 (*T.dicoccum*), 904 (*T. aestivum*), 938 (*×Triticosecale*), 939 (*×Triticosecale*) и 5771 (*T.aethiopicum* var.*purpureum*). Существенное увеличение как медианного (до 29%), так и максимального (до 15%) времени выживаемости самок наблюдали при содержании на диете из муки Дербентская черноколосая (*T.durum*), Янтара (*T.dicoccum*), Линия 1 (*T.dicoccum*), 904 (*T. aestivum*), 5798 (*T. compactum* var. *humboldtiiinflatum*), 5802 (*T.sphaerococcum* var.*globosum*), 5803 (*T.sphaerococcum*

*var.tumidum*) и 5807 (*T.timopheevii var.timopheevii*). Увеличение времени выживаемости особей при температуре +29 °С свидетельствует о потенциальном геропротекторном (антивозрастном) эффекте диеты.

Для дальнейших исследований были выбраны диеты с наибольшим положительным эффектом на выживаемость дрозофил в условиях эксперимента (29 °С) и обладающие высоким геропротекторным потенциалом. К ним относятся: Дербентская черноколосая, Янтара, Линия 1, 1222, 904, 939, 5807, 5811 (*T. monocosmum var. flavescens*), 5814 (*T. monocosmum var. vulgare*) (увеличение продолжительности жизни, экспериментальные образцы). Кроме того для отрицательного контроля использовали образец 5766 (*T. persicum var. rubiginosum*) (снижение продолжительности жизни) и в качестве контроля образец 5762 (*T. dicosmum var. rufum*) (нет эффекта на продолжительность жизни).

При изучении влияния диет на основе хлебных злаков на продолжительность жизни наиболее выраженное увеличение медианной ПЖ у самцов наблюдалось при добавлении в диету образцов 939 (27%,  $p < 0.01$ ), Янтара (13%,  $p < 0.01$ ), 904 (13%,  $p < 0.01$ ), 5807 (20%,  $p < 0.01$ ), 5811 (11%,  $p < 0.01$ ) и Линии 1 (13%,  $p < 0.01$ ) относительно контроля 5762. Однако максимальная ПЖ самцов снижалась при использовании диет на основе диет из образцов Линия 1, 1222, 904, 5811 и 5814 до 8% относительно отрицательного контроля ( $p < 0.001$ ). В остальных случаях статистически значимых различий по ПЖ самцов выявлено не было.

У самок было отмечено увеличение медианной ПЖ и максимальной ПЖ до 6% ( $p < 0.01$ ) при добавлении в диету образца Дербентская черноколосая относительно двух контролей. Диета на основе Линии 1 также увеличила максимальную ПЖ самок на 2% ( $p < 0.001$ ), однако, только относительно отрицательного контроля. Максимальная ПЖ самок снижалась до 5% ( $p < 0.001$ ) относительно отрицательного контроля при добавлении в пищу образцов 1222 и 5811, и относительно обычного контроля при использовании образцов 1222, 904 и 5811. В остальных случаях у самок достоверных различий между разными вариантами питания выявлено не было.

Таким образом установлено, что изученные образцы обладают геропроотекторной активностью. Полученные результаты могут быть использованы при разработке нутрициологических подходов к обеспечению здорового долголетия, повышению адаптивных возможностей организма и замедлению 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

Laskowski W, Górska-Warsewicz H, Rejman K, Czeczotko M., Zwolińska J. How Important are Cereals and Cereal Products in the Average Polish Diet? // *Nutrients*, 2019. V. 11. № 3. P. 679.

Lüersen K., Röder T., Rimbach G.. *Drosophila melanogaster* in nutrition research-the importance of standardizing experimental diets // Genes & nutrition, 2019. V. 14. P. 3. DOI: 10.1186/s12263-019-0627-9

McKevith B. Nutritional aspects of cereal // Nutrition Bulletin, 2004. V. 29. № 2. P. 111142.

## **РОЛЬ ГЕНОВ БИОГЕНЕЗА МАЛЫХ РНК В ЭФФЕКТАХ АКТИВАТОРА РНК-ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЭНОКСАЦИНА НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ *DROSOPHILA MELANOGASTER***

**Н. Р. Пакшина\***, **Д. В. Яковлева\***, **Н. С. Уляшева\***,  
**Е. Н. Прошкина\***, **А. А. Москалев\*\***

\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: pakshina.n.r@ib.komisc.ru

\*\*Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, Москва

МикроРНК (миРНК) и короткие интерферирующие РНК (киРНК) представляют собой два класса малых РНК и играют важную регуляторную роль в различных биологических процессах. Биогенез и активность этих малых РНК обеспечивают белки семейства *Argonaute*. Эти регуляторные РНК действуют через РНК-интерференцию – посттранскрипционный процесс, при котором осуществляется генная регуляция в результате нацеливания на специфические молекулы и последующего ингибирования трансляции и деградации мишеней (Shan et al., 2008). Кроме того, к малым РНК относятся PIWI-взаимодействующие РНК (пиРНК), необходимые для защиты генома от активности мобильных генетических элементов и вирусов.

Использование низкомолекулярных соединений, нацеленных на эпигенетические механизмы, обладают большим потенциалом для замедления старения и предотвращения развития возраст-зависимых заболеваний (Shan et al., 2008; Zhao et al., 2022; Wang et al., 2022). Эноксацин является первым и уникальным низкомолекулярным энхансером РНК-интерференции. Известно, что его действие на продолжительность жизни (ПЖ), старение и возраст-зависимые заболевания опосредовано миРНК. Данное соединение проявляет геропротекторное действие на нематод (Felicetti et al., 2020), ингибирует рост раковых клеток и восстанавливает глобальную экспрессию миРНК (Sousa et al., 2013), у мышей – увеличивает уровни миРНК в головном мозге, влияет на их поведенческие реакции (Smalheiser et al., 2014), а также уменьшает вызванное диетой ожирение, нормализует уровень глюкозы в крови и снижает симптомы бокового амиотрофического склероза (Rocha et al., 2020).

Целью работы являлось изучение влияния эноксацина на продолжительность жизни особей *Drosophila melanogaster* и анализ вклада в его эффект генов семейства *Argonaute*, кодирующих белки биогенеза малых РНК, включая микроРНК (*AGO1*), киРНК (*AGO2*), пиРНК (*AGO3*, *aub*, *piwi*).

В первую очередь, мы оценили, каким образом эноксацин влияет на продолжительность жизни дрозофил линии дикого типа *Canton-S*. Мух содержали в климатической камере с постоянно поддерживающимися условиями: при 25 °С, 12-ти часовым режимом освещения и 60% влажностью. Раствор эноксацина в концентрациях 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 50, 100, 500 мкг/мл наносили на поверхность питательной среды дрозофил по 30 мкл. В качестве растворителя использовали раствор NaOH в концентрации 1 мкМ, он же использовался для контрольной группы животных.

У самцов активатор РНК-интерференции эноксацин вызывал увеличение медианной ПЖ дрозофил на 8–20% ( $p < 0.001$ , критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона с поправкой Бонферрони) и максимальной ПЖ (возраста 90% смертности) на 3–12% ( $p < 0.05$ , тест Ванг-Аллисона с поправкой Бонферрони) при применении вещества в концентрациях 10–100 мкг/мл. У самок при тех же концентрациях наблюдался положительный эффект на медианную ПЖ на 5–8% ( $p < 0.05$ ) и на максимальную ПЖ на 3–12% ( $p < 0.05$ ).

Для изучения вклада генов семейства *Argonaute* в эффект эноксацина получали особей *D. melanogaster* с РНК-интерференцией этих генов на основе двухкомпонентной системы GAL4/UAS. Для получения экспериментальных особей проводили скрещивание девственных самок UAS-линии (#31700, #34799, #44543, #57819, #33728, Bloomington Drosophila Stock Center, США) и самцов линий с конститутивными драйверами GAL4 (#458, #55849, Калифорнийский университет, Беркли, США).

При повсеместной РНК-интерференции генов *AGO2*, *AGO3*, *Aub* и *piwi* у самцов был обнаружен положительный эффект эноксацина в концентрациях 0.1–50 мкг/мл. Данное вещество у мух с нокдауном указанных генов приводило к увеличению медианой ПЖ на 5–16% ( $p < 0.05$ ) и максимальной ПЖ – на 5–14% ( $p < 0.05$ ). В то же время РНК-интерференция гена *AGO1* отменяла положительное действие эноксацина и снижала эти параметры у самцов при применении вещества на 3–13% ( $p < 0.05$ ). У самок со сниженной активностью гена *piwi* обработка эноксацином в концентрациях 10 и 50 мкг/мл также увеличила медианную ПЖ на 9–10% ( $p < 0.001$ ), а подавление генов *AGO2* и *piwi* повысило максимальную ПЖ на 3–6% ( $p < 0.05$ ) при таких же концентрациях. Во всех остальных вариантах эксперимента происходило снижение выживаемости на 1–14% ( $p < 0.05$ ).

У самцов с РНК-интерференцией генов *AGO1*, *AGO2* и *Aub* в нервной системе эноксацин при концентрациях 1–50 мкг/мл увеличивал медианную ПЖ на 7–14% ( $p < 0.05$ ) и максимальную ПЖ на 1–12% ( $p < 0.05$ ). При этом нейрональный нокдаун генов *AGO3* и *piwi* отменяли положительное действие данного вещества. У самок со сниженной активностью генов *AGO2*, *AGO3* и *Aub* эноксацин в концентрациях



0.1, 1, 10 и 50 мкг/мл продлевал жизнь на 3–11% ( $p < 0.05$ ). Но при РНК-интерференции *AGO1* и *piwi* этот эффект отсутствовал. В отдельных случаях при концентрациях 0.5 и 5 мкг/мл наблюдалось снижение выживаемости на 3–18% ( $p < 0.05$ )

Таким образом, эноксацин обладает геропротекторным потенциалом у *Drosophila melanogaster*. Нами впервые проанализирован вклад в эффект данного вещества генов семейства *Argonaute*, кодирующих белки биогенеза малых РНК. Повсеместный нокадаун гена *AGO1*, который отвечает за биогенез миРНК, отменял положительный эффект эноксацина, либо менял направленность его действия в сторону снижения продолжительности жизни. Схожее, но менее выраженное влияние оказала РНК-интерференция остальных изучаемых генов, что указывает на роль киРНК и пиРНК в опосредовании биологической активности эноксацина. Нейрональная РНК-интерференция гена *AGO1* также сильнее всего снизила эффект эноксацина у самок. Но у самцов в большей степени оказал влияние нокадаун генов подсемейства *Piwi* в нервной системе.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» N 122040600022-1*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Felicetti T., Cecchetti V., Manfroni G.* Modulating microRNA Processing: Enoxacin, the Progenitor of a New Class of Drugs // *J Med Chem.*, 2020. V. 63. № 21. P. 1227512289.

*Rocha A. L., Imamura de Lima T., Profeta de Souza G., Corrêa R. O., Lopes Ferrucci D., Rodrigues B., Lopes-Ramos C., Nilsson D., Leite Knittel T., Ribeiro Castro P., Font Fernandes M., Dos Santos Martins F., Bessa Parmigiani R., Reis Silveira L., Carvalho H. F., Auwerx J., Vinolo M. A. R., Boucher J., Mori M. A.* Enoxacin induces oxidative metabolism and mitigates obesity by regulating adipose tissue miRNA expression // *Sci Adv.*, 2020. V. 6. № 49. P. eabc6250. DOI: 10.1126/sciadv.abc6250

*Shan G., Li Y., Zhang J., Li W., Szulwach K. E., Duan R., Faghihi M. A., Khalil A. M., Lu L., Paroo Z., Chan A. W. S., Shi Z., Liu Q., Wahlestedt C., He C., Jin P.* A small molecule enhances RNA interference and promotes microRNA processing // *Nat Biotechnol*, 2008. V. 26. № 8. P. 933–940.

*Smalheiser N. R., Zhang H., Dwivedi Y.* Enoxacin Elevates MicroRNA Levels in Rat Frontal Cortex and Prevents Learned Helplessness // *Front Psychiatry*, 2014. V. 5. P. 6. DOI: 10.3389/fpsy.2014.00006

*Sousa E., Graca I., Baptista T., Vieira F. Q., Palmeira C., Henrique R., Jerónimo C.* Enoxacin inhibits growth of prostate cancer cells and effectively restores microRNA processing // *Epigenetics*, 2013. V. 8. № 5. P. 548–558.

*Wang K., Liu H., Hu Q., Wang L., Liu J., Zheng Z., Zhang W., Ren J., Zhu F., Liu G.-H.* Epigenetic regulation of aging: implications for interventions of aging and diseases // *Signal Transduct Target Ther.*, 2022. V. 7. № 1. P. 374. DOI: 10.1038/s41392-022-01211-8

Zhao R., Fu J., Zhu L., Chen Y., Liu B. Designing strategies of small-molecule compounds for modulating non-coding RNAs in cancer therapy // J Hematol Oncol., 2022. V. 15. № 1. P. 14. DOI: 10.1186/s13045-022-01230-6

## ГЕРОПРОТЕКТОРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ЭКСТРАКТОВ ЯГОД И ЛИСТЬЕВ ЧЕРНОПЛОДНОЙ РЯБИНЫ (*SORBARONIA MITSCHURINII*) У *DROSOPHILA MELANOGASTER*, ЗАВИСЯТ ОТ ВОЗРАСТА ОСОБЕЙ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ

Е. Ю. Платонова<sup>\*,\*\*</sup>, Н. В. Земская<sup>\*\*</sup>, М. В. Шапошников<sup>\*\*</sup>, А. А. Москалев<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Сыктывкарский государственный университет им Питирима Сорокина, Сыктывкар

E-mail: [Dega37@yandex.ru](mailto:Dega37@yandex.ru)

<sup>\*\*</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар

<sup>\*\*\*</sup>Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, Москва

Из данных литературы выявлено, что черноплодная рябина обладает большим геропротекторным потенциалом, чем и обуславливает высокую заинтересованность научного сообщества в дальнейшем изучении данного растения (Platonova et al., 2021). Для проведения исследований в основном широко используют плоды (в виде экстрактов, соков, жмыха и т.д), но также, начинает проявляться интерес к листьям и стеблям черноплодной рябины (Cvetanović et al., 2018).

Ранее было обнаружено, что ацетоновый экстракт плодов *A. melanocarpa* в концентрации 2.5 мг/мл увеличивает на 18% среднюю продолжительность жизни и улучшает двигательную активность 40-дневной дрозофилы (Jo, Imm, 2017). Поэтому нами была проверена гипотеза, о том, может ли экстракт плодов и листьев черноплодной рябины оказывать положительный эффект на продолжительность жизни плодовых мушек, при применении его в различном возрасте и периоде обработке.

Целью работы являлось выявление геропротекторного потенциала экстракта ягод (ABE) и листьев (SLE) черноплодной рябины *Sorbaronia mitschurinii* на модели *Drosophila melanogaster*.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи: (1) оценить зависимость геропротекторных эффектов ABE и SLE от возраста мухи и длительности обработки (на протяжении всей жизни, 1–2, 4–6 неделя жизни и с 4 недели и до конца жизни); (2) выявить зависимость геропротекторного эффекта от применяемых концентраций экстрактов.

В экспериментах использовали линию дикого типа *Canton-S* (#64349, Блумингтон, США). Мух содержали в климатической камере Binder KBF720-ICH (Binder, Германия) при 25 °С и относительной влажности 60% при режиме освещения 12 ч свет : 12 ч темнота. Подопытные мухи содержались на питательной среде с добав-

лением этанольных растворов АВЕ в концентрациях 0.01, 0.1, 1, 2.5, 5 и 10 мг/мл, а SLE в концентрациях 0.01, 0.1, 1 и 5 мг/мл. Контрольные мухи содержались на питательной среде с добавлением 95% этанола. Экспериментальных мух обрабатывали экстрактами в соответствии с предложенными схемами. Перед и после обработки экстрактами экспериментальных мух содержали на контрольной среде. Для анализа ПЖ имаго и разделяли по полу, на каждый вариант эксперимента отбирали по 150 особей. Эксперименты проводили в двух–трех повторностях. Рассчитывали медианную и максимальную (возраст 90% смертности особей) продолжительность жизни.

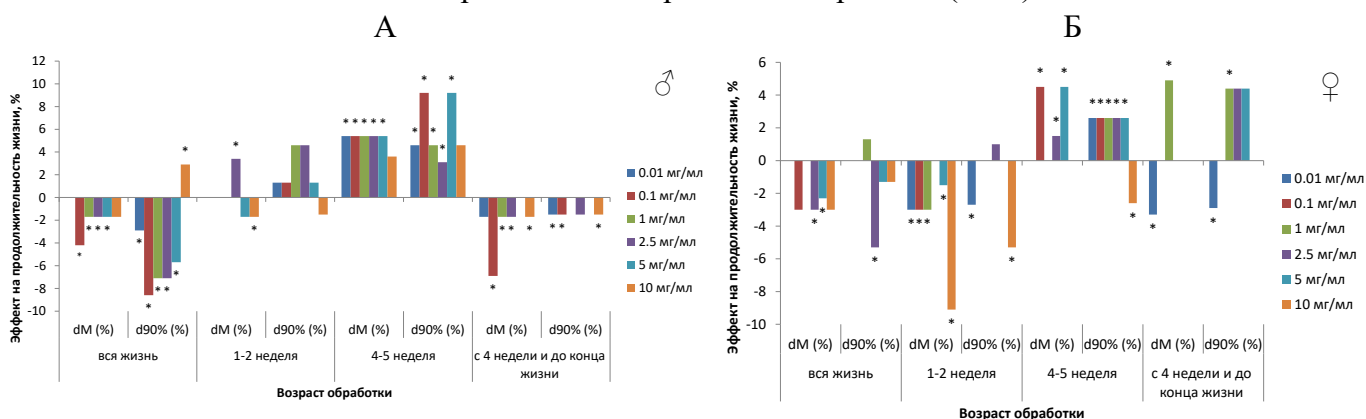
В результате было обнаружено достоверное снижение медианной и максимальной ПЖ при добавлении АВЕ на протяжении всей жизни и в первые недели жизни у особей обоих полов плодовых мушек. Добавление АВЕ на 4–5 неделе жизни оказало наибольший положительный эффект на медианную (на 5%) и максимальную (до 9%) ПЖ самцов. У самок, при добавлении АВЕ на 4–5 неделе жизни, была увеличена медианная (до 5%) и максимальная (на 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. Добавляя 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% (рис.).

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.

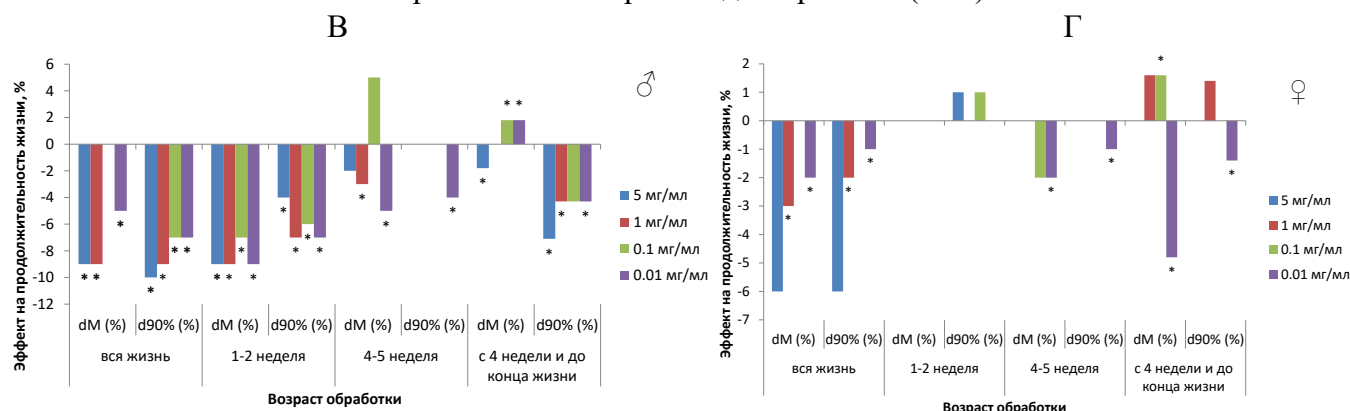
Таким образом, выявлено, что кратковременное применение АВЕ оказывает наибольшее геропротекторное действие на особей обоих полов плодовых мушек, при этом SLE проявляет общий негативный эффект на медианную и максимальную продолжительность жизни *D. melanogaster*, за счет эффекта гормезиса.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели *Drosophila melanogaster*» (№ 122040600022-1).*

Экстракт плодов черноплодной рябины (АВЕ)



Экстракт листьев черноплодной рябины (SLE)



Влияние АВЕ и SLE на изменение медианной (dM) и максимальной (d90%) продолжительности жизни на протяжении всей жизни самцов (А, В) и самок (Б, Г) *D. melanogaster*. \* $p < 0.05$  критерий Колмогорова-Смирнова, \* $p < 0.05$  критерий Мантель-Кокса, # $p < 0.05$  критерий Вилкоксона-Бреслоу-Гехана для медианной ПЖ; \* $p < 0.05$  тест Ванг-Аллисона для максимальной ПЖ.

ЛИТЕРАТУРА

Cvetanović A., Zengin G., Zeković Z., Švarc-Gajić J., Ražić S., Damjanović A., Mašković P., Mitić M. 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 // Food and Chemical Toxicology, 2018. V. 121. P. 458466. DOI: 10.1016/j.fct.2018.09.045

Jo A. R., Imm J. Y. Effects of aronia extract on lifespan and age-related oxidative stress in *Drosophila melanogaster* // Food Sci Biotechnol., 2017. V. 26(5). P. 13991406. DOI: 10.1007/s10068-017-0180-5.

Platonova E. Y., Shaposhnikov M. V., Lee H-Y., Lee J-H., Min K-J., Moskalev A. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) extracts in terms of geroprotector criteria // Trends in Food Science & Technology, 2021. V. 114. P. 570–584. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.06.020.

## ГЕНЫ GPX3 И SOD3 КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МИШЕНИ ДЛЯ РЕГУЛЯЦИИ КЛЕТОЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К ОКИСЛИТЕЛЬНОМУ СТРЕССУ

**Е. Е. Расова\***, **М. М. Тавлеева\***, **Е. С. Белых\***, **А. В. Рыбак\***,  
**А. А. Черных\*\***, **И. О. Велегжанинов\***

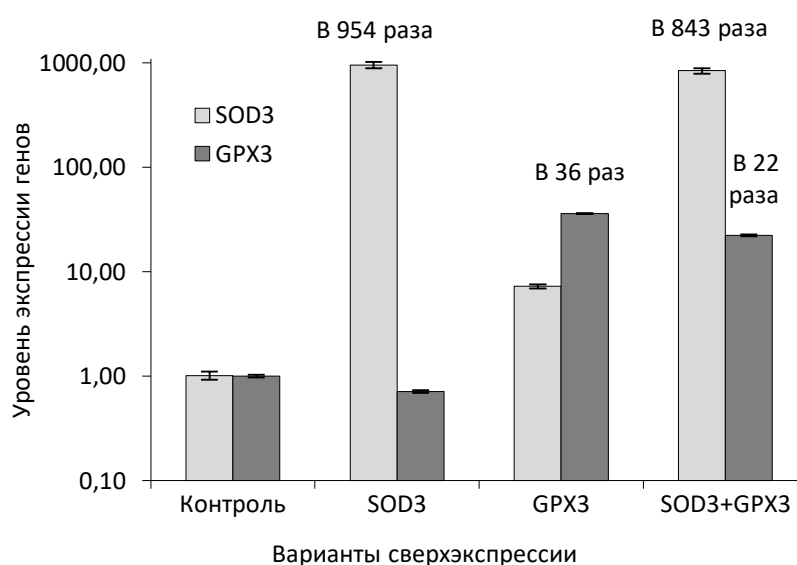
\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар

\*\*Институт физиологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [rasova@ib.komisc.ru](mailto:rasova@ib.komisc.ru)

Активные формы кислорода являются неотъемлемой частью множества биохимических процессов в организме. В то же время их избыток, вызванный несовершенством антиоксидантных систем или экзогенными факторами, сопровождается развитием многих заболеваний. В связи с этим большой интерес представляет транскрипционная регуляция клеточной стрессоустойчивости посредством сверхактивации генов антиоксидантной защиты в рациональных комбинациях. Для определения наиболее подходящих мишеней такой сверхактивации нами был проведен систематический обзор результатов исследований по сверхэкспрессии основных антиоксидантных генов клетки *in vitro* и *in vivo* (Tavleeva et al., 2022). Среди проанализированных нами 166 работ, в большинстве случаев повышение экспрессии антиоксидантных генов увеличивало устойчивость клеточных культур и организмов к окислительному стрессу различной природы. Тем не менее, необходимо учитывать, что помимо положительных эффектов сверхактивация антиоксидантных систем может стимулировать канцерогенез. В связи с этим мы анализировали эффекты сверхэкспрессии антиоксидантных генов в том числе с позиции того, является ли данный ген онкосупрессором или онкогеном. Анализ данных 130 источников показал, что сверхэкспрессия антиоксидантных генов может влиять на канцерогенез во всех возможных направлениях: как стимулировать развитие рака в нормальных тканях, так и предотвращать его; а в сформированных опухолях – как стимулировать их озлокачествление, так и препятствовать их развитию (Brigelius-Flohé, Kipp, 2009; Rolfs et al., 2013; Miar et al., 2015). Кроме того, повышение экспрессии антиоксидантных генов в нормальных клетках, как правило, снижает риск малигнизации, а в уже малигнизированных клетках может увеличивать устойчивость опухоли к терапии, как в случае с геном *PRDX6* и генами семейства *GPX* (Brigelius-Flohé, Kipp, 2009). На основании этого была выдвинута гипотеза о том, что комбинированная сверхактивация генов семейства *SOD* с каталазой и/или генами семейства *GPX* представляется наиболее безопасной и эффективной с позиции как повышения клеточной стрессоустойчивости, так и во избежание избыточного производства  $H_2O_2$  в клетке, которое возможно при отдельной сверхэкспрессии супероксиддисмутазы.

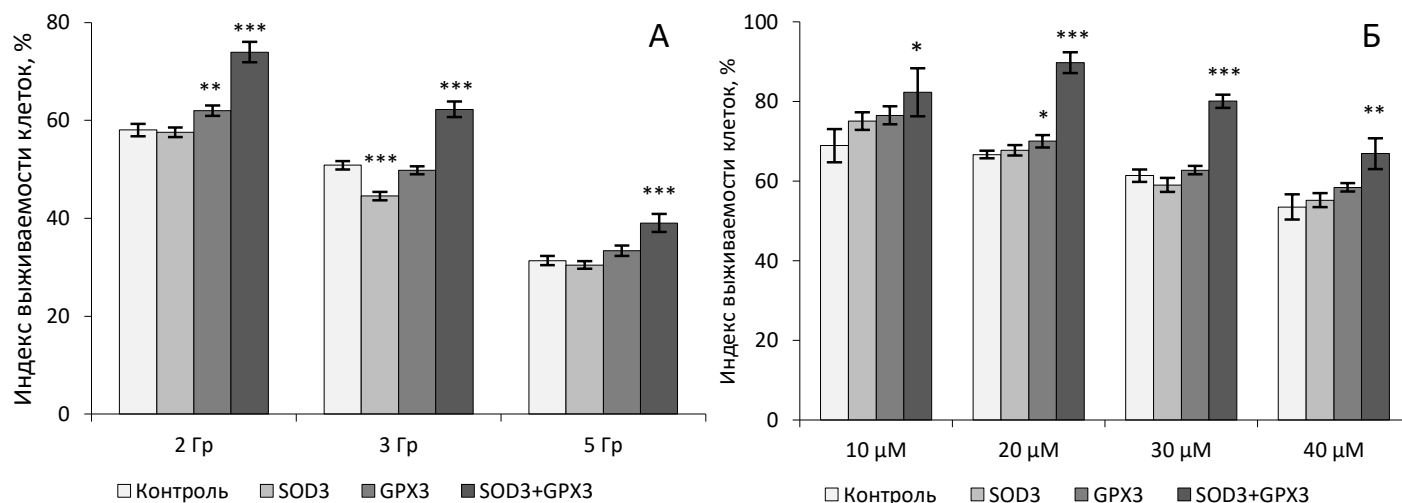
Целью экспериментального исследования была оценка влияния сверхэкспрессии генов *SOD3* и *GPX3* на устойчивость клеток к окислительному стрессу, вызванному ионизирующим излучением и воздействием параквата. С помощью CRISPRa-технологии была осуществлена отдельная и одновременная сверхактивация генов *SOD3* и *GPX3* в клетках эмбриональной почки человека Нек293Т в 843–954 и 22–36 раз соответственно (рис. 1). Культуры клеток на фоне сверхэкспрессии *SOD3* и *GPX3* подвергали воздействию  $\gamma$ -излучения в дозах 2, 3 и 5 Гр, а также параквата в концентрациях 10, 20, 30 и 40  $\mu$ М. Выживаемость клеток оценивали с помощью флуориметрического анализа цитотоксичности в микрокультурах (FMCA).



**Рис. 1.** Уровень экспрессии генов *SOD3* и *GPX3* в клетках Нек293Т при CRISPRa-опосредованной сверхактивации.

Было показано, что при облучении во всех дозах выживаемость клеток с одновременной сверхэкспрессией генов *SOD3* и *GPX3* достоверно возрастала в сравнении с контрольными клетками без сверхактивации и клетками, в которых сверхактивировали лишь один из двух генов (рис. 2 А). Аналогичные изменения были отмечены при воздействии параквата во всех концентрациях: выживаемость клеток была достоверно выше в варианте с комбинированной сверхэкспрессией генов *SOD3* и *GPX3*, в сравнении с культурами клеток без сверхэкспрессии или со сверхэкспрессией одного из двух генов (рис. 2 Б).

Полученный результат подтверждает нашу гипотезу об эффективности сверхэкспрессии генов антиоксидантной защиты в функционально обоснованных комбинациях. Кроме того, в совокупности с данными о преимущественно онкосупрессорном эффекте сверхэкспрессии генов *SOD3* и *GPX3* по отдельности, наши данные свидетельствуют о наличии прикладного потенциала одновременной сверхактивации данных генов.



**Рис. 2.** Выживаемость клеток HeK293T при отдельной и одновременной сверхэкспрессии генов *SOD3* и *GPX3* на фоне окислительного стресса, вызванного  $\gamma$ -излучением (А) и паракватом (Б). Различия с контролем достоверны при  $p < 0.05$  (\*),  $0.01$  (\*\*) и  $0.001$  (\*\*\*) (t-тест Стьюдента).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта РНФ № 22-24-01042 “Комплексная гиперактивация собственных антиоксидантных систем клетки с помощью CRISPRa”. Экспериментальные исследования были проведены на базе ЦКП “Молекулярная биология” (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Brigelius-Flohé R., Kipp A. Glutathione Peroxidases in Different Stages of Carcinogenesis // Biochim. Biophys. Acta (BBA) Gen. Subj., 2009. № 1790. P. 15551568. DOI: 10.1016/j.bbagen.2009.03.006.*

*Miar A., Hevia D., Muñoz-Cimadevilla H., Astudillo A., Velasco J., Sainz R.M., Mayo J. C. Manganese Superoxide Dismutase (SOD2/MnSOD)/Catalase and SOD2/GPx1 Ratios as Biomarkers for Tumor Progression and Metastasis in Prostate, Colon, and Lung Cancer // Free Radical Biology and Medicine, 2015. № 85. P. 4555. DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2015.04.001.*

*Rolfs, F., Huber, M., Gruber, F., Böhm, F., Pfister, H. J., Bochkov, V. N., Tschachler, E., Dummer, R., Hohl, D., Schäfer, M., Werner S. Dual Role of the Antioxidant Enzyme Peroxiredoxin 6 in Skin Carcinogenesis // Cancer Research, 2013. № 73. P. 34603469. DOI: 10.1158/0008-5472.CAN-12-4369.*

*Tavleeva M. M., Belykh E. S., Rybak A. V., Rasova E. E., Chernykh A. A., Ismailov Z. B. Velegzhaninov I. O. Effects of antioxidant gene overexpression on stress resistance and malignization in vitro and in vivo: a review // Antioxidants, 2022. V. 11. № 2316. P. 125. DOI: 10.3390/antiox11122316.*

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ И РЕПАРАЦИИ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ СШИВОК ДНК-БЕЛОК В КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК НЕК293FT МЕТОДОМ ДНК-КОМЕТ

**А. В. Рыбак, И. О. Велегжанинов, Е. С. Белых**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [canewa.anuta@yandex.ru](mailto:canewa.anuta@yandex.ru)

Ионизирующее излучение является одним из факторов, вызывающих повреждения ДНК. В присутствии кислорода в большей степени образуются разрывы нитей, а в гипоксических условиях – сшивки ДНК-белок (ДБС). Биологическая роль радиационно-индуцированных ДНК-белковых сшивок до конца не выяснена. Однако изучение их образования и репарации может быть важным для понимания реакции на облучение опухолевых клеток, для которых гипоксические условия характерны (Nakano et al., 2017), а так же для разработки подходов регуляции радиационной устойчивости клеток. В нашей предыдущей работе (Velegzhaninov et al., 2020) с помощью щелочной версии метода ДНК-комет выявлено значительное число нуклеоидов с низкой электрофоретической подвижностью хроматина в начальный промежуток времени (1–5 мин) после острого воздействия  $\gamma$ -излучения в дозе 4 Гр на клетки НЕК293FT. Мы предположили, что этот эффект может быть связан с образованием ДБС и быстрой их репарацией.

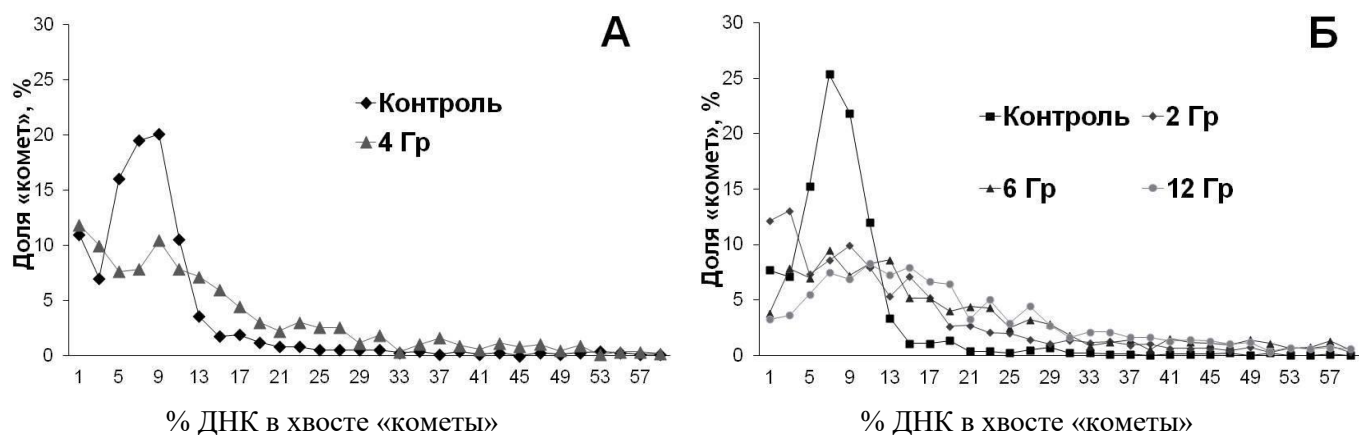
Целью работы являлась оценка вклада ДБС в общий уровень повреждений, детектируемых с помощью метода ДНК-комет, и скорости репарации сшивок ДНК-белок в клетках человека НЕК293FT после острого  $\gamma$ -облучения.

Исследование проводили на клетках НЕК293FT, культивируемых в среде DMEM/F12 с 10% фетальной бычьей сывороткой и 2 мМ L-глутамин (37°C, 5% CO<sub>2</sub>, 95% влажность). Слайды с иммобилизованными в гель клетками помещали в питательную среду, облучали в емкостях Коплина на установке «Исследователь» от источника <sup>137</sup>Cs (0.7 Гр/мин) в дозах 2–12 Гр. Через 1–30 минут после облучения слайды переносили в холодный лизирующий буфер для дальнейшего анализа ДНК-комет, как описано в работе (Velegzhaninov et al., 2020). Различия между распределениями клеток в вариантах сравнения анализировали с помощью критерия согласия Пирсона  $\chi^2$ . Для оценки образования и репарации ДБС после лизиса осуществляли обработку слайдов протеиназой К по методике (Merk et al., 2000) с модификациями. После обработки слайды подвергали дальнейшим манипуляциям по протоколу метода ДНК-комет, как описано выше.

Для подтверждения обнаруженного ранее эффекта мы повторили эксперимент с облучением в дозе 4 Гр и вновь обнаружили слабо выраженное увеличение доли клеток с низким уровнем электрофоретической подвижности ДНК (1–3% ДНК в хвосте «кометы») сразу после облучения (рис. 1А). Далее для оценки дозовой зави-



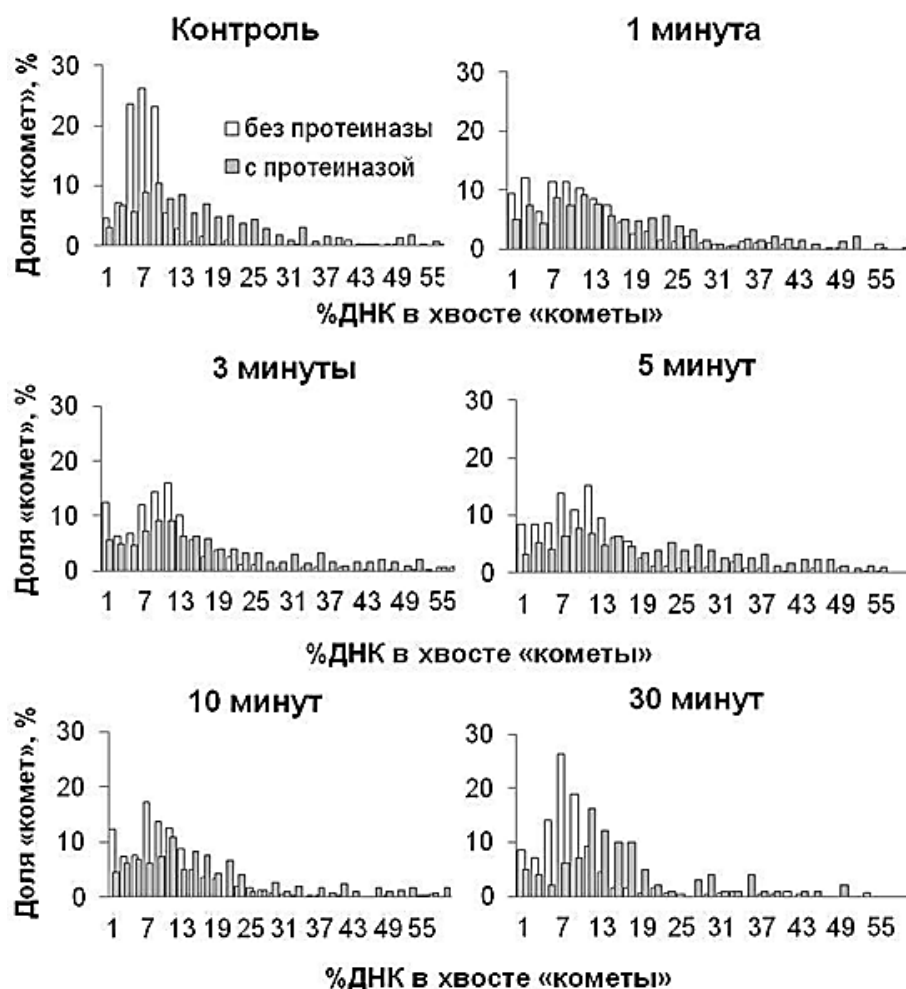
симости проявления эффекта мы выполнили облучение в дозах 2, 6 и 12 Гр и немедленную фиксацию иммобилизованных в агарозный гель клеток (рис. 1Б).



**Рис. 1.** Графики распределения показателя % ДНК в хвосте «кометы» в препаратах, полученных из клеток НЕК293FT через 1 минуту после облучения в дозе 4 Гр (А) и в дозах 2, 6 и 12 Гр (Б).

Установлено, что аналогичное обнаруженному ранее распределение, характеризующееся высокой долей (12–13%) нуклеоидов с низкой электрофоретической подвижностью ДНК, наблюдалось после облучения в дозе 2 Гр по сравнению с контролем ( $\chi^2 = 382.8$ ,  $p = 0.01114$ ). После облучения в дозах 6 и 12 Гр появления значительного числа нуклеоидов с малым уровнем повреждения ДНК в хвосте «кометы» не выявлено. Следовательно, изучаемый эффект был наиболее выраженным после острого облучения в дозе 2 Гр, поэтому именно эта доза использована в дальнейших экспериментах. Чтобы проверить, вносят ли ДБС основной вклад в наблюдаемый эффект, мы провели обработку слайдов протеиназой К через 1, 3, 5, 10 и 30 минут после облучения в дозе 2 Гр. Обработка протеиназой привела к увеличению подвижности ДНК при электрофорезе (рис. 2). Отсутствие изучаемого эффекта в этом варианте эксперимента указывает на то, что в его основе лежат сшивки ДНК-белок. В варианте без обработки протеиназой повышенная частота нуклеоидов с низкой электрофоретической подвижностью ДНК наблюдалась через 1, 3 и 10 минут после облучения. В некоторой степени феномен сохранялся и через 30 минут, когда распределение уже сильно приближалось к контрольному варианту.

Таким образом, радиационно-индуцированные сшивки ДНК-белок вносят значительный вклад в распределение нуклеоидов по показателю % ДНК в хвосте «кометы» в первые минуты после  $\gamma$ -облучения в дозе 2 Гр. Этот факт должен учитываться при оценке скорости репарации ДНК методом ДНК-комет, так как влияет на усредненные значения уровня повреждений. Впервые показано, что репарация ДБС после облучения в умеренной дозе (2 Гр) сопоставима со скоростью репарации одонитевых разрывов ДНК и осуществляется быстро (менее 30 минут).



**Рис 2.** Гистограммы распределения показателя % ДНК в хвосте “кометы” в препаратах, полученных из клеток HEK293FT через 1, 3, 5, 10 и 30 минут после облучения в дозе 2 Гр при 37 °С с обработкой и без обработки протеиназой К.

*Работа выполнена в рамках госзадания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 122040600024-5).*

#### ЛИТЕРАТУРА

- Merk O., Reiser K., Speit G.* Analysis of chromate-induced DNA-protein crosslinks with the comet assay // *Mutat Res.*, 2000. V. 471(12). P. 7180.
- Nakano T., Xu X., Salem A. M. H., Shoukamy M. I., Ide H.* Radiation-induced DNA-protein cross-links: Mechanisms and biological significance // *Free Radic Biol Med.*, 2017. V. 107. P. 136145.
- Velegzhaninov I. O., Belykh E. S., Rasova E. E., Pylina Y. I., Shadrin D. M., Klokov D. Y.* Radioresistance, DNA Damage and DNA Repair in Cells With Moderate Overexpression of RPA1 // *Front. Genet.*, 2020. V. 11. P. 855. DOI: 10.3389/fgene.2020.00855

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДЛИНЫ ТЕЛОМЕР У МОХООБРАЗНЫХ

**А. В. Санникова\***, **М. Р. Шарипова\***, **Е. В. Шакиров\*<sup>\*\*,\*</sup>**, **Л. Р. Валеева\***

\*Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань

E-mail: [anastasya.sannikova@bk.ru](mailto:anastasya.sannikova@bk.ru)

\*\*Marshall University, Huntington, West Virginia, USA

Теломеры – это специализированные нуклеопротеиновые структуры на концах линейных хромосом эукариот. Они играют важную роль в защите концевых участков хромосом от действия экзонуклеаз, систем клеточной репарации, а также от хромосомных aberrаций. Функциональной характеристикой теломер является их длина. Изменения в составе и структуре теломер в ходе эволюции имеют первостепенное значение как один из важнейших адаптационных факторов, регулирующих стабильность всего генома. Биология теломер представителей царства растений остается малоизученной, поэтому использование новых растительных модельных организмов в исследованиях биологии теломер представляет большой интерес. Мохообразные являются одной из перспективных групп наземных растений для изучения молекулярной генетики и эволюции растений и биологии теломер, в частности, поскольку они представляют, дивергировавшую на ранних этапах эволюции современных наземных растений группу, тем не менее, обладающую многими консервативными для всех наземных растений признаками.

Целью работы было исследовать динамику длины теломер у различных представителей мохообразных, таких как *Physcomitrium patens*, *Ceratodon purpureus* у мхов рода *Sphagnum* и печеночника *Marchantia polymorpha*. В работе были использованы аксеничные культуры мха *P. patens* четырех экотипов Gransden, (Великобритания), Reute (Германия), Villersexel (Франция), Kaskaskia (США), мох *C. purpureus* (мужское R40 и женское растение GG1), а также природные изоляты сфагнума *S. fallax* MW (США), *S. girgensohnii* (Россия, Свердловская обл.) *Sphagnum* sp. (Россия, респ. Марий-Эл), а также печеночник *M. polymorpha* линии Takaragaike-1 (Tak-1, мужское растение (Япония)) выращенные на твердой минеральной среде BCD и GB5 с добавлением тартрата аммония и MES. Для анализа длины теломер использовали ДНК, выделенную из тканей 14-дневной протонемы *P. patens*, *C. purpureus*, гаметофоры сфагнума и таллом *M. polymorpha*. Протонему получали из гомогенизированных тканей мха. Анализ длины теломер проводили методом TRF (**T**erminal **R**estriction **F**ragment analysis, рестрикционный анализ терминальных фрагментов) совместно с Саузерн-блот анализом (Southern blotting) (Nigmatullina et al., 2016). Расчет средней длины теломер проводили с помощью программы TeloTool (Göhring et al., 2014). Динамику длины теломер в протонеме *P. patens* экотипа Reute и *C. purpureus* в женской (GG1) и мужской (R40) линии проводили в течение 42 суток роста. Отбор тканей проводили каждые 14 суток. Идентификацию внутривитальных теломерных тандемных повторов на хромосомной ДНК у *S. fallax* MW и

*Sphagnum* sp проводили методом экзонуклеазной рестрикции с использованием фермента Bal31. Экзонуклеаза Bal31 постепенно укорачивает теломерные фрагменты ДНК на обоих концах хромосомы, однако интерстициальная область будет устойчива к обработке ферментом.

Было показано, что различные экотипы растений *P. patens* имеют длину теломер в диапазоне от 1200 п.о до 1300 п.о. что 1.5–3 раза короче, чем длина теломер модельного покрытосеменного растения *Arabidopsis thaliana* экотипа Col-0 (в среднем 2500–4500 п.о.). Средняя длина теломер у экотипов Gransden, Reute и Villersexel составляла ~ 1300 п.н. Однако средняя длина теломер у экотипа Kaskaskia была немного короче и составила ~ 1200 п.о. Кроме того, мы показали, что все изученные экотипы имеют специфические теломерные последовательности, предположительно внутрихромосомной локализации, различающиеся по своему расположению и длине внутри экотипов. Было показано, что длина теломер в женском растении *S. purpureus* GG1 колеблется от 480 до 500 п.о., в то время как длина теломер у мужского растения *S. purpureus* R40 колеблется от 900 до 1000 п.о. Таким образом, длина теломер в мужском и женском растении существенно отличается примерно в два раза, что, предположительно, может быть связано с генетическими факторами, связанными с U и V половыми хромосомами. Кроме того, мы показали, что у *S. purpureus* в двух линиях также присутствуют специфические теломерные последовательности внутрихромосомной локализации, отличающиеся своим расположением и длиной в женском и мужском растении. Длина теломер *S. fallax* MW и *S. girgensohnii* составляла около 1880–2000 п.о. Однако у другого изолята *Sphagnum* sp. теломеры были короче (1100–1500 п.о.). Такое различие в длине теломер у сфагнома предположительно вызвано тем, что ткани *Sphagnum* sp. и *S. girgensohnii* были отобраны из естественной среды обитания, где могли подвергаться влиянию биотических и абиотических факторов окружающей среды. Длина теломер печеночника *M. polymorpha* в мужской линии Tak-1 в два раза отличалась от длины теломер у исследованных зеленых мхов и составила ~2200 п.о. Также мы показали, что *M. polymorpha* имеет специфические внутрихромосомные теломерные последовательности на уровне ~1500 п.о. и ~ 1400 п.о. Мы исследовали корреляцию длины теломер в протонеме у *P. patens* и *S. purpureus* и установили, что длина теломер в женской и мужской линии растений *S. purpureus*, а также у экотипа Reute *P. patens* не изменяется в течении 42 суток роста, что указывает на стабильные механизмы регуляторных процессов поддержания длины теломер в процессе активного деления клеток на стадии роста протонемы и при формировании гаметофоров. Методом рестрикции нуклеазой Bal31, мы подтвердили, что TTTAGGG – гибридирующие теломерные повторы расположены на концах хромосом *S. fallax* MW и *Sphagnum* sp. У *S. fallax* MW истинно-теломерный сигнал исчезал с 30 минуты, в то время как интерстициальная кросс-гибридирующая область была устойчива к обработке ферментом даже на 120 минуте. У *Sphagnum* sp. сигнал гибридизации начал теряться с 30 минуты и был полностью потерян к 120 минуте обработки экзо-

нуклеазой Bal31. Мы идентифицировали наличие внутриврохромосомных теломерных последовательностей длиной ~ 2000 п.о. у *S. fallax* MW. Однако подобная интерстициальная теломерная ДНК не была обнаружена у *Sphagnum* sp.

Таким образом, нами впервые были получены и проанализированы данные о динамике длин теломер в группе мохообразных растений. В дальнейшем мы планируем расширить наше исследование и более детально изучить регуляторные механизмы биологии теломер мохообразных.

*Работа выполнена в рамках Программы стратегического академического лидерства Казанского федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030) и финансирована грантом РФФИ № 21-14-00147.*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Nigmatullina L. R., Sharipova M. R., Shakirov E. V.* Non-Radioactive TRF Assay Modifications to Improve Telomeric DNA Detection Efficiency in Plants // *BioNanoScience*, 2016. V. 6(4). P. 325328.

*Göhring J., Fulcher N., Jacak J., Riha K.* Göhring TeloTool: a new tool for telomere length measurement from terminal restriction fragment analysis with improved probe intensity correction // *Nucleic Acids Res.*, 2014. V. 42. P. e21. DOI: 10.1093/nar/gkt1315

### **ОЦЕНКА ФИТОГОРМОНАЛЬНОГО СТАТУСА СОСЕН ИЗ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ И БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ**

**А. С. Смирнова, С. В. Битаршвили, И. А. Пишенин, С. А. Гераськин**

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,  
Обнинск

E-mail: [sas.smirnova@mail.ru](mailto:sas.smirnova@mail.ru)

Авария на Чернобыльской АЭС явилась причиной загрязнения существенной части Европейских территорий. Несмотря на то, что прошло 36 лет после катастрофы, до сих пор остаются территории, на которых уровни радиации во много раз превышают фоновые значения. Такими территориями являются Чернобыльская зона отчуждения и ряд районов Брянской области. Изучение отдаленных эффектов радиационных катастроф имеет важное значение для понимания адаптивных механизмов растений в ответ на хроническое низкодозовое радиационное воздействие.

С целью формирования более глубокого понимания отдаленных последствий хронического облучения растений в данной работе исследована работа гормональной системы сосен Чернобыльской зоны отчуждения и Брянской области.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – объект нашего исследования, обладает высокой радиочувствительностью и повсеместно распространена на изучаемых территориях, загрязненных в результате аварии. Обследование экспериментальных участков и пробоотбор были проведены в мае 2022 года в Гомельской области Республики Беларусь на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (Руд 1, Руд 2 – контрольные участки; Гнезд, Мас, Кул – экспериментальные участки с контрастным уровнем радиоактивного загрязнения) и в Брянской области (К-01, К-02 – контрольные участки; 624А, 623А, 622А – экспериментальные участки). Мощность дозы на экспериментальных участках приведена в таблице. Для анализа с 10–11 деревьев отбирали двухлетнюю хвою на высоте 12–16 метров от земли и сразу фиксировали в жидком азоте.

Таблица

Мощность дозы на экспериментальных участках

Участок	Гомельская область					Брянская область				
	Руд 1	Руд 2	Гнезд	Мас	Кул	К-01	К-02	624А	623А	622А
Мощность поглощенной дозы, мкЗв/ч	0.60	0.058	1.46	16.30	24.63	0.104	0.096	0.366	1.94	2.63

Концентрации индолилуксусной кислоты (ИУК), индолилмасляной кислоты (ИМК), зеатина и абсцизовой кислоты (АБК) были оценены методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе Shimadzu LC-30 Nexera (Япония). Подробная методика выделения и определения основных классов фитогормонов в хвое сосны представлена в ранее проведенном исследовании (Битаришвили и др., 2021).

В ходе хроматографического анализа было выявлено, что в хвое сосен с загрязненных участков Чернобыльской зоны отчуждения уровни ИУК и ИМК не отличались значимо от контрольных, за исключением самого загрязненного участка (рис. 1А, 1В). В хвое сосен с загрязненных участков Брянской области уровни ИУК были повышены по сравнению с контролем К-01, тогда как по сравнению с К-02 повышение концентрации наблюдалось только на участке 624А (рис. 1).

Ауксины играют ключевую роль во многих процессах роста и развития растений, таких как апикальное доминирование, тропизмы, кислый рост, формирование сосудистых тканей (Джамеев, 2020). Статистически значимое увеличение содержания ИУК в хвое сосен Брянской области может указывать на активацию ростовых процессов.

Основными функциями АБК являются контроль созревания и развития семян, ответ на стресс, формирование адаптивных реакций (Yoshida et al., 2019). В Гомельской области в хвое сосны наблюдалось значимое отличие в уровнях АБК только на одном загрязненном участке Мас по сравнению с контролем Руд 1. Значимые отличия содержания АБК в Брянской области не были выявлены.

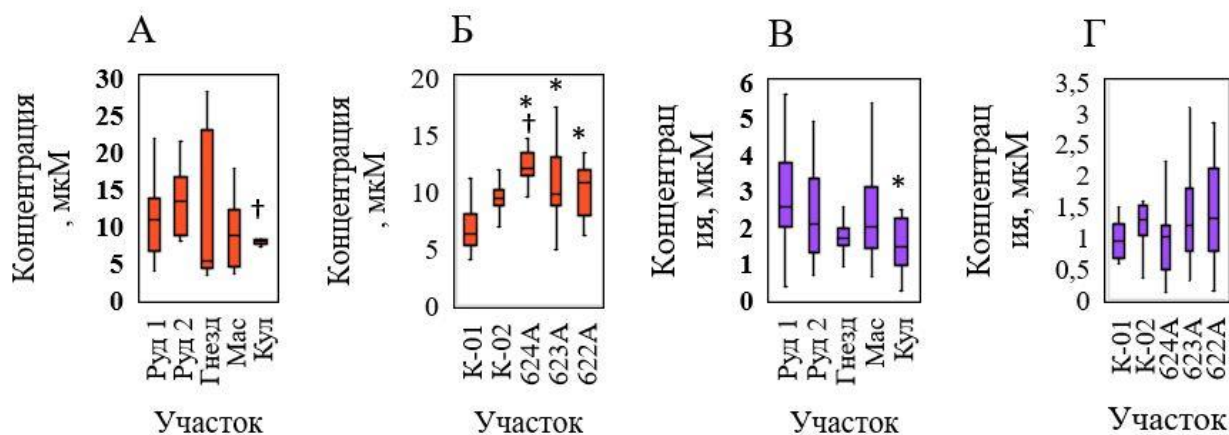


Рис. 1. Концентрации ауксинов в хвое сосен в зависимости от участка Гомельской (А – ИУК, В – ИМК) и Брянской области (Б – ИУК, Г – ИМК): \* – различия статистически значимы по сравнению с контролем К1,  $p < 0.05$ , U-тест; † – различия статистически значимы по сравнению с контролем К2,  $p < 0.05$ , U-тест.

Цитокинины, к которым относят и зеатин, инициируют растяжение и пролиферацию клеток, стимулируют транспорт метаболитов и питательных веществ (Веселов и др., 2017). Значимые отличия концентрации зеатина в хвое сосен с загрязненных участков Чернобыльской зоны отчуждения по сравнению с контрольными не были выявлены (рис. 2). Содержание зеатина в хвое сосен с участков с повышенным радиационным фоном Брянской области имели значимое повышение по сравнению с К-01. Увеличение содержания цитокининов наряду с ауксинами может указывать на интенсификацию деления клеток и активацию ростовых процессов.

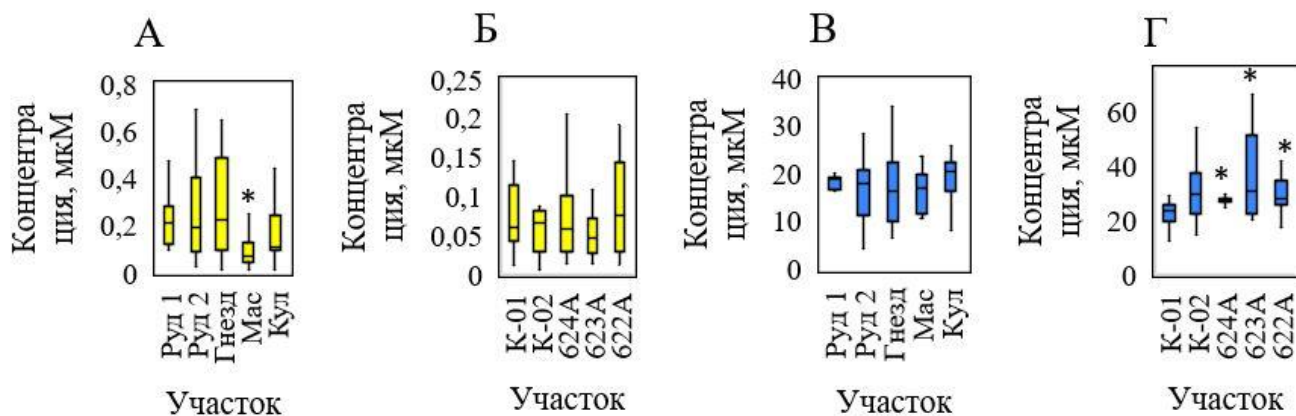


Рис. 2. Концентрации АБК в хвое сосен в зависимости от участка Гомельской (А – АБК, В – Зеатин) и Брянской области (Б – АБК, Г – Зеатин): \* – различия статистически значимы по сравнению с контролем К1 ( $p < 0.05$ , U-тест); † – различия статистически значимы по сравнению с контролем К2 ( $p < 0.05$ , U-тест).

Результаты настоящей работы частично согласуются с результатами исследования популяции сосны обыкновенной Чернобыльской зоны отчуждения, проведен-

ного в предыдущем году (Битаршвили и др., 2022). При анализе хвои сосны обыкновенной, отобранной в 2021 г, не было выявлено существенных изменений в концентрациях ауксинов, зеатина и АБК в зависимости от радиационного воздействия, что подтверждается в данном исследовании. Анализ хвои сосен Брянской области, также подвергшихся загрязнению в результате аварии, показал увеличение содержания ауксинов и цитокининов по сравнению с контролем. Для окончательных выводов о радиационной природе различий в концентрациях фитогормонов и влиянии хронического облучения на гормональную систему сосны обыкновенной необходимо проведение дополнительных исследований.

*Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (№ 21-16-00004)*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Битаршвили С. В., Гераськин С. А., Йоценко В. И., Празян А. А., Нанба К.* Изменение фитогормонального статуса красной японской сосны после аварии на АЭС Фукусима // *Экология*, 2021. № 2. С. 93102.

*Битаршвили С. В., Гераськин С. А., Шестерикова Е. М., Празян А. А.* Влияние хронического облучения на фитогормональный статус сосен чернобыльской зоны отчуждения // *Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра)*, 2022. Т. 31. № 4. С. 6472.

*Веселов Д. С., Кудоярова Г. Р., Кудрякова Н. В., Кузнецов В. В.* Роль цитокининов в стресс-устойчивости растений // *Физиология растений*, 2017. Т. 64. № 1. С. 19–32.

*Джамеев В. Ю.* Современные представления о действии ауксина. 2. Механизмы трансдукции ауксинового сигнала и физиологическое действие // *Вісник ХНАУ. Серія : Біологія*, 2021. № 3(54). С. 98–137.

*Yoshida T., Christmann A., Yamaguchi-Shinozaki K., Grill E., Fernie A. R.* Revisiting the basal role of ABA—roles outside of stress // *Trends in Plant Science*, 2019. V. 24. № 7. P. 625635.



## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УРОВЕНЬ ФРАГМЕНТАЦИИ ДНК В КЛЕТКАХ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЫШЕЙ

**А. К. Соколова\***, **О. В. Раскоша\*\***

\*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар

E-mail: [aliskasokolova.ru@yandex.ru](mailto:aliskasokolova.ru@yandex.ru)

\*\* Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [raskosha@ib.komisc.ru](mailto:raskosha@ib.komisc.ru)

Хроническое облучение с низкой мощностью дозы может вызывать самые разные биологические эффекты, иногда сопоставимые с эффектами, наблюдаемыми в области больших доз радиации. В результате действия ионизирующего излучения могут возникать одонитевые и двунитевые разрывы ДНК. После облучения в малых дозах уже с первых минут происходит множество модификаций ДНК и хроматина, способствующих репарации ДНК (Feinendegen et al., 2012). С другой стороны, поврежденные клетки могут удаляться путем индуцированной клеточной гибели. Щитовидная железа обладает высокой радиочувствительностью в сочетании с низкой пролиферативной активностью, что может приводить к накоплению повреждений в этом органе, особенно при хроническом воздействии факторов.

Цель данного исследования состояла в оценке уровня одонитевых и двунитевых разрывов ДНК в клетках щитовидной железы животных после хронического внешнего  $\gamma$ -облучения в малых дозах.

Объектами исследования были половозрелые самцы мышей линии *СВА* из вивария Института биологии Коми НЦ УрО РАН (<http://www.ckp-rf.ru/usu/471933/>). Мышей случайным образом делили на три опытных и одну контрольную группы, в каждой группе было 5–6 особей. Животных опытных групп подвергали облучению с помощью установки хронического гамма-облучения «Фотон» (Россия) в течение 30 суток. Поглощенная доза для первой опытной группы составила 10 сГр, для второй – 20 сГр и для третьей опытной группы – 30 сГр. Контрольные особи находились в идентичных с опытными животными условиях при нормальном уровне радиационного фона. Самцов опытных (сразу после облучения) и контрольной групп подвергли декапитации с последующим взятием материала для исследования клеток щитовидной железы методом ДНК-комет, который обладает высокой чувствительностью (Langie et al., 2015) и позволяет регистрировать повреждения ДНК на уровне одиночных клеток (Olive, Vanath, 1993; Гайдай et al., 2020). После декапитации животных щитовидную железу извлекали и получали суспензию тироцитов с помощью ферментативной диссоциации коллагеназой (Collagenase type IA, Sigma, USA), затем клетки отмывали в фосфатно-солевом буфере и проводили иммобилизацию тироцитов в низкоплавкой агарозе, нанесенной на предметное стекло. Далее – слайды с

клетками помещали в лизирующий раствор на сутки и после этого проводили электрофорез для выявления однонитевых разрывов ДНК в щелочном буфере, а для двунитевых разрывов в нейтральном буфере (Olive, Vanath, 1993; Раскоша, Башлыкова, 2016). Слайды с клетками окрашивали флюоресцентным красителем (бромистым этидием) и изучали образцы при помощи микроскопа «Axioscop A1» (Germany). Анализ ДНК-комет проводили с использованием программы «Comet Score Pro» («TriTek Corp.», USA). Рассчитывали среднее значение %TDNA (Olive, Vanath, 1993) и частоту встречаемости клеток с неповрежденной ДНК (диапазон 0–10% TDNA), средне фрагментированной ДНК (диапазон 11–40% TDNA), а также клеток с высоко фрагментированной ДНК (имеющих более 40% ДНК в «хвосте кометы»). Достоверность различий между сравниваемыми группами оценивали с использованием  $F$ -критерия Фишера и  $t$ -критерия Стьюдента.

Полученные результаты показали, что средние значения %TDNA при анализе однонитевых разрывов ДНК для мышей контрольной и опытных групп были статистически незначимыми и составляли в контроле – 15%, а у животных, облученных в дозах 10 сГр, 20 сГр и 30 сГр – 13.8%, 10.2% и 15.9%, соответственно. Тем не менее, при ранжировании данных в зависимости от частоты встречаемости клеток с фрагментацией ДНК, удалось выявить некоторые различия между опытными и контрольной группами животных. Так, у мышей, облученных в дозе 20 сГр, установлено повышение на 8.1% ( $p < 0.05$ ) числа тироцитов, практически не имеющих «хвоста кометы» (диапазон 0–10% TDNA), и понижение на 4.8% ( $p < 0.05$ ) доли клеток с высокой фрагментацией ДНК в отличие от контрольных животных.

Исследование двунитевых разрывов ДНК в клетках щитовидной железы мышей показало, что среднее значение %TDNA у особей контрольной группы составило 12.4%. Повышение этого показателя по сравнению с контролем установлено у животных, подвергнутых хроническому  $\gamma$ -облучению в дозах 10 и 20 сГр (18.7% ( $p < 0.05$ ) и 20.4% ( $p < 0.01$ ), соответственно), а в случае, когда мышей облучали в дозе 30 сГр различие с контролем было статистически незначимым, но тенденция к повышению %TDNA сохранялась (17%). При распределении клеток в зависимости от частоты встречаемости разрывов ДНК обнаружено, что во всех опытных группах, по сравнению с контрольной группой, понижалась доля клеток с низкой фрагментацией ДНК (0–10% TDNA): на 15% у животных, облученных в дозе 10 сГр ( $p < 0.001$ ), на 22.4% и 20.4% у животных, облученных в дозах 20 сГр и 30 сГр ( $p < 0.001$ ). Это сопровождалось статистически значимым повышением доли тироцитов со средней фрагментацией ДНК (11–40% TDNA) у мышей после облучения в дозах 20 сГр и 30 сГр на 13.6% и 17.7%, а также увеличением доли клеток с высокой фрагментацией ДНК во всех опытных группах – на 8.6% и 8.8% после радиационного воздействия в дозах 10 и 20 сГр ( $p < 0.001$ ) и на 2.7% ( $p < 0.05$ ) после облучения мышей в дозе 30 сГр.

Таким образом, установлена эффективность хронического действия ионизирующего излучения на клетки щитовидной железы мышей линии *СВА* при всех ис-

пользуемых в эксперименте дозах с проявлением нелинейной зависимости доза–эффект. Наиболее выраженный ответ выявлен в щитовидной железе животных, облученных в дозе 20 сГр, направленный как на усиление репарационных процессов, так и на элиминацию сильно поврежденных клеток.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН ( № 122040600024-5).*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Гайдай Е. А., Дорофеева А. А., Крышень К. Л., Гайдай Д. С.* Методические аспекты проведения ДНК-комет-теста в условиях *in vivo* в доклинических исследованиях // Лабораторные животные для научных исследований, 2020. № 3. С. 16–24.

*Раскоша О. В., Башлыкова Л. А.* Генетические эффекты в соматических клетках мышей, подвергнутых хроническому гамма-облучению в малых дозах, и у их потомков // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2016. № 4(28). С. 5559.

*Feinendegen L. E., Pollycove M., Neumann R. D.* Hormesis by Low Dose Radiation Effects: Low-Dose Cancer Risk Modeling Must Recognize Up-Regulation of Protection // Therapeutic Nuclear Medicine. Springer, 2012. P. 789805.

*Langie S. A. S, Azqueta A., Collins A. R.* The comet assay: past, present, and future // Front. Genet. 2015. V. 6. P. 266. DOI: 10.3389/fgene.2015.00266.

*Olive P. L., Banath J. P.* Detection of DNA double-strand breaks through the cell cycle after exposure to X-rays, bleomycin, etoposide and 125IdUrd // Int. J. Radiat. Biol., 1993. V. 64. № 4. P. 349358.

## ЭВОЛЮЦИОННО-КОНСЕРВАТИВНЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРОДЛЕНИЯ ЖИЗНИ *DROSOPHILA MELANOGASTER* НА ПРИМЕРАХ ХРОНО- И ТЕРМОГОРМЕЗИСА

**И. А. Соловьёв\***, **Е. В. Щеголева\*\***, **Л. А. Коваль\*\***,  
**М. В. Шапошников\*\***, **А. А. Москалев\*\***

\*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар

\*\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [soloviev@ib.komisc.ru](mailto: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, так как 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. Однако, известно также, что множественные синхронизирующие циркадные часы 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 горметического действия термического стимула.

Цель настоящей работы: установить связующие звенья молекулярно-генетических механизмов термического и фото(хроно)гормезиса, провести анализ 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 °C 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], *популяциии* были предварительно выравнены 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 °C. Опытную группу помещали один раз в неделю в условия при температуре 29 °C на два часа, остальное время особи жили при 25 °C. 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.).

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 горметические 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).

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%
<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

*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., Шапошников М. В., Москалев А. А. Генетические механизмы влияния света и фототрансдукции на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster* // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2018. Т. 22. №. 7. С. 878886.

Glaser F. T., Stanewsky R. Temperature synchronization of the *Drosophila* circadian clock // Current biology, 2005. V. 15. № 15. P. 13521363.

Han S. K., Lee D., Lee H., Kim D, Son H. G., Yang J. S., Lee S. J. V., Kim S. OASIS 2: online application for survival analysis 2 with features for the analysis of maximal lifespan and healthspan in aging research // Oncotarget, 2016. V. 7. № 35. P. 56147–56152.

Katwa S. D. Akagi K., Bose N., Rakshit K., Camarella T., Zheng X., Hall D., Davis S., Nelson C. S., Brem R. B., Ramanathan A., Sehgal A., Giebultowicz J. M., Kapahi P. Peripheral circadian clocks mediate dietary restriction-dependent changes in lifespan and fat metabolism in *Drosophila* // Cell metabolism, 2016. V. 23. № 1. P. 143154.

### **ПРОТЕКТОРНЫЕ СВОЙСТВА *MONARDA FISTULOSA* L. И *MONARDA FISTULOSA* VAR. *MEDIA* L НА ПРИМЕРЕ *DROSOPHILA MELANOGASTER***

**Б. Б. Стрижов\*, Е. В. Болотник\*\*, О. Н. Антосюк\***

\*Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

\*\*Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук,  
Екатеринбург

E-mail: [bagadan9026@gmail.com](mailto:bagadan9026@gmail.com)

Представители рода *Monarda* характеризуются содержанием биологически активных веществ, а именно: флавоноидов, эфиромасличных соединений и т.д. Определено содержание флавоноидов в растениях *M. fistulosa* var. *media* (Монарда средняя) и *M. fistulosa* (Монарда дудчатая), интродуцированных на Урале (Антосюк и др., 2021). Представители данного рода характеризуются различными эффектами, например *Monarda didyma* проявляет инсектицидные свойства в отношении *Drosophila virilis* (Магомбе и др., 2021). За счет высокого содержания флавоноидов могут проявляться и многие другие эффекты: противовоспалительный, спазмолитический, кровоостанавливающий, антимикробный и прочие фармакологические действия (Титчмарш, 2011).

Показан протекторный эффект экстракта *M. fistulosa var. mentifolia* L. в концентрации 20 мг/мл относительно токсического воздействия этопозида (800 мкг/кг питательной среды), проявляющийся в антигенотоксичности, и показателей жизнеспособности особей линии Oregon – R *Drosophila melanogaster* (Шамилов и др., 2020). Ранее показано, что для экстрактов *M. fistulosa var. media* (Монарда средняя) и *M. fistulosa* (Монарда дудчатая) (100 мг/мл) совместное применение с этопозидом снижает частоту мозаицизма (Huang et al., 2015).

Этанольный экстракт представителей рода *Monarda* вносили в питательную среду 5% и 1% концентрации относительно объема. Для определения антигенотоксических свойств экстрактов использовали тест на соматические мутации и рекомбинации (Somatic Mutation and Recombination Test (SMART)).

Самок из мутантной линии *yellow* скрещивали с самцами из мутантной линии *white singed 3*, поместив их на тестируемую среду на 72 ч. Спустя 72 ч мух удаляли, а анализировали самок из гибридного потомства (F<sub>1</sub>). Осматривали щетинки на теле самок F<sub>1</sub>, подсчитывали количество нетипичных для нормального фенотипа по цвету и форме: желтые и (или) опаленные. Регистрировали пятна как представлено в таблице 1: одиночное пятно у (*yellow*) или sn (*singed*) либо двойное у sn. Для анализа иммунологического статуса делали мазок гемолимфы особей, предварительно производя прокол в нескольких местах. После чего фиксировали метанолом, окрашивали красителем Романовского – Гимзе, промывали и вели подсчет всех трех видов клеток крови: плазматоциты, ламеллоциты и кристаллоциты. Статистический анализ проводили с помощью программы StatSoft Inc., Statistica, v. 8.0 с использованием критерия  $\chi^2$  с поправкой Йейтса.

Во всех экспериментальных выборках, где применяли этанольные экстракты двух представителей рода *Monarda*, а именно *M. fistulosa* и *M. media* как в концентрации 20 мг/мл, так и в концентрации 100 мг/мл не обнаружили генетической активности. Изменение частоты одиночных пятен по типу sn в отношении контрольной выборки не зарегистрировали (табл.). Иммунологический статус особей, которые содержались на питательной среде с внесением этанольных экстрактов, характеризуется увеличением количества клеток крови.

Таблица

Учёт соматического мозаицизма у *Drosophila melanogaster* при использовании маркеров *yellow* (y) и *singed* (sn) в экспериментальных группах с использованием экстрактов представителей рода *Monarda*

Вариант	Выборка	Число особей с мутантными пятнами					$\chi^2$	p
		y	sn	y sn	другие мутантные фенотипы	доля от выборки, %		
Контроль	573	1	2	0	0	0.52	–	–
Экстракт <i>Monarda fistulosa</i> 5%	394	0	2	0	0	0.51	0.18	0.973
Экстракт <i>Monarda media</i> 5%	711	0	6	0	0	0.84	0.12	0.728
Экстракт <i>M. fistulosa</i> 1%	167	0	2	0	0	1.1976	0.16	0.69
Экстракт <i>M. media</i> 1%	141	0	0	0	0	0	0.02	0.893

## ЛИТЕРАТУРА

Антосюк О. Н., Болотник Е. В., Постовалова А. С. Протекторный эффект экстракта *Prunella grandiflora* L. относительно токсического воздействия этопозида на примере *Drosophila melanogaster* // Бюллетень сибирской медицины, 2021. № 20(2) С. 611.

Магомбе Н., Антосюк О. Н., Болотник Е. В. Изучение протекторных свойств экстракта *Prunella grandiflora* L. относительно воздействия противоопухолевого препарата этопозида на примере *Drosophila melanogaster* // VIII Международная научно-практическая конференция молодых ученых биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов «OpenBio – 2021». Новосибирск: Наукоград Кольцово, 2021. С. 3536.

Тутчмарш А. Садовые вредители. Петроглиф, 2011. 66 с.

Шамилов А. А., Поздняков Д. И., Гарсия Е. Р., Черников М. В. Диуретическая активность представителей рода *Prunella* (Lamiaceae) // Вестник Смоленской государственной медицинской академии, 2020. Т. 19. № 3. С. 201207.

Huang M., Wang Y., Xu L., You M. Anti-tumor properties of *Prunella vulgaris*. // Curr Pharmacol Rep., 2015. V. 1. P. 401419.

**ВЛИЯНИЕ ВЕЩЕСТВ - ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ  
(ЭНОКСАЦИНА И ТРИХОСТАТИНА А) И БЕРБЕРИНА  
НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ  
*DROSOPHILA MELANOGASTER***

**Н. С. Уляшева, Е. Н. Прошкина, М. В. Шапошников, А. А. Москалев**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [ulyasheva-1309@yandex.ru](mailto:ulyasheva-1309@yandex.ru)

При старении в клетках организма нарушается работа эпигенетических механизмов, включая изменение профилей метилирования ДНК и модификаций гистонов, нарушение архитектуры хроматина, дерегуляцию активности некодирующих РНК. Вследствие, происходят изменения в механизмах транскрипции, генной экспрессии, репликации и репарации ДНК. Из-за этого нарушается стабильность и целостность генетического аппарата, а также меняется активность генов, важных для поддержания функций клеток и организма и для его реакции на изменение условий окружающей среды. Это, в свою очередь, приводит к развитию возрастных заболеваний, старению и снижению стрессоустойчивости организма (Прошкина и др., 2020).

Ранее были описаны вещества, которые могут замедлять старение организма через воздействие на эпигенетические механизмы (Pasyukova et al., 2021). Например, изучаются геропротекторные свойства ингибиторов гистондеацетилаз (HDAC), одним из которых является трихостатин А (TSA). Это вещество влияет на функционирование хроматина через регуляцию ацетилирования гистонов и на экспрессию



микроРНК (Rhodes et al., 2012). Другим эпигенетическим регулятором является активатор РНК-интерференции эноксацин, который усиливает биогенез микроРНК, а также может стимулировать репарацию ДНК (Gioia et al., 2019). Оба эти соединения показали свою способность увеличивать продолжительность жизни (ПЖ), но только в единичных исследованиях. Тем не менее, чтобы считаться геропротекторами, они должны удовлетворять ряду критериев (Moskalev et al., 2016). В данной работе с использованием плодовой мушки *Drosophila melanogaster* мы оценили соответствие эноксацина и TSA некоторым критериям: продление жизни на модельных животных дикого типа; воспроизводимость на разных моделях; повышенная стрессоустойчивость. Полученные данные для эпигенетических регуляторов мы сопоставили с природным соединением берберинном – хорошо изученным алкалоидом, который проявляет активность против старения за счет воздействия на несколько сигнальных путей, включая регуляцию метилирования ДНК и микроРНК (McCubrey et al., 2017). Для исследования мы брали широкий спектр концентраций веществ (1–5000 мкМ) и кормили ими мух в течение всей жизни, поэтому результат нашей работы также дает представление об общей токсичности изучаемых соединений при длительном применении.

Целью данной работы является изучение влияния эноксацина, TSA и берберина на ПЖ и устойчивость к стрессовым факторам (прооксиданту параквату и гамма-излучению) у *D. melanogaster*.

Ранее было показано, что берберин увеличивает длительность жизни разных модельных организмов, в том числе дрожжей (Dang et al., 2020), мышей (Dang et al., 2020) и дрозофил (Navrotskaya et al., 2012). Небольшой, но статистически значимый эффект наблюдался и в нашей работе. Отмечается увеличение медианной ПЖ самок на 3% ( $p < 0.01$ ) и показатель максимальной ПЖ (возраст 90% смертности) на 1 % ( $p < 0.01$ ) при применении концентраций 10 мкМ, 100 мкМ и 500 мкМ. У самцов результаты были статистически незначимы или связаны с укорочением жизни.

Синтетические соединения эноксацин и TSA показали более выраженное влияние на длительность жизни дрозофил. Эноксацин в концентрации 1 и 100 мкМ у самок дрозофил увеличил медианную ПЖ на 5% ( $p < 0.001$ ) и максимальную ПЖ на 6% ( $p < 0.001$ ). У самцов данное вещество в концентрации 100 мкМ продлило максимальную ПЖ на 2% ( $p < 0.05$ ). TSA в концентрации 10 мкМ еще сильнее увеличил показатели ПЖ самок – до 9% ( $p < 0.001$ ). У самцов возраст 90% смертности был увеличен на 2% ( $p < 0.001$ ) при применении 1 и 100 мкМ TSA. Ранее в работах других авторов эноксацин и TSA увеличивали ПЖ *C. elegans* (Pinto et al., 2018, Calvert et al., 2016) и *D. melanogaster* (Tao et al., 2004).

Далее мы рассмотрели влияние изучаемых веществ на устойчивость дрозофил к стрессорам - прооксиданту параквату в концентрации 20 мМ и гамма-излучению в дозе 800 Гр. В обоих случаях мух предварительно содержали на питательной среде с потенциальными геропротекторами в течение 15 суток, после чего помещали в

стрессовые условия и оценивали выживаемость. При действии параквата, эноксацин в концентрации 100 мкМ продлил максимальную выживаемость самок до 7% ( $p < 0.05$ ). В исследовании на *C. elegans* эноксацин также повышал устойчивость особей к окислительному стрессу посредством регуляции сигнальных путей (Pinto et al., 2018). Мы ожидали, что положительный эффект будет наблюдаться и для двух других веществ. TSA усиливает антиоксидантную защиту (Zhang et al., 2021). Берберин в ранее проведенном исследовании повышал выживаемость дрозофил при высокой температуре (Navrotskaya et al., 2014). Но в нашей работе TSA и берберин либо снижали выживаемость дрозофил при действии параквата, либо не оказывали статистически значимого влияния.

Берберин в концентрации 10 и 1000 мкМ увеличил медианную выживаемость самцов на 25% ( $p < 0.001$ ) после острого гамма-облучения. Но TSA и эноксацин повысили чувствительность мух к генотоксическому воздействию, снизив выживаемость до 16% ( $p < 0.001$ ). В литературе описан сенсibiliзирующий эффект эноксацина (Nish et al., 2017), TSA (Wang et al., 2021) и берберина (Peng et al., 2008) на устойчивость раковых клеток к ультрафиолетовому и ионизирующему облучению.

Таким образом, нами показаны потенциальные геропротекторные и радиопротекторные эффекты двух эпигенетических регуляторов (эноксацина и TSA) и берберина на модели *D. melanogaster*. TSA и эноксацин оказали положительное влияние на длительность жизни дрозофил, но повысили их чувствительность к острому гамма-излучению. Кроме того, эноксацин повысил устойчивость мух к прооксиданту параквату, а TSA - снизил. Берберин, напротив, при небольшом увеличении ПЖ заметно повышал выживаемость самцов при радиационном воздействии.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» N 12204060022-1.*

#### ЛИТЕРАТУРА

Прошкина Е. Н., Соловьев И. А., Шапошников М. В., Москалев А. А. Ключевые молекулярные механизмы старения, биомаркеры и потенциальные интервенции // Молекулярная биология, 2020. Т. 54. № 6. С. 88838921.

Calvert S., Tacutu R., Sharifi S., Teixeira R., Ghosh P., de Magalhães J. P. A network pharmacology approach reveals new candidate caloric restriction mimetics in *C. elegans* // Aging Cell., 2016. V. 15. № 2. P. 256–266.

Dang Y., An Y., He J., Huang B., Zhu J., Gao M., Zhang S., Wang X., Yang B., Xie Z. Berberine ameliorates cellular senescence and extends the lifespan of mice via regulating p16 and cyclin protein expression // Aging Cell., 2020. V. 19. № 1. P. e13060. DOI: 10.1111/accel.13060

Gioia U., Francia S., Cabrini M., Brambillasca S., Michelini F., Jones-Weinert C. W., d'Adda di Fagagna F. Pharmacological boost of DNA damage response and repair by enhanced biogenesis of DNA damage response RNAs // Sci Rep., 2019. V. 9. № 1. P. 6460. DOI: 10.1038/s41598-019-42892-6

McCubrey J. A., Lertpiriyapong K., Steelman L. S., Abrams S. L., Yang L. V., Murata R. M., Rosalen P. L., Scalisi A., Neri L. M., Cocco L., Ratti S., Martelli A. M., Laidler P., Dulińska-Litewka J., Rakus D., Gizak A., Lombardi P., Nicoletti F., Candido S., Libra M., Montalto G., Cervello M. Effects of resveratrol, curcumin berberine and other nutraceuticals on aging, cancer development, cancer stem cells and microRNAs // *Aging* (Albany NY), 2017. V. 9. № 6. P. 1477–536.

Moskalev A., Chernyagina E., Tsvetkov V., Fedintsev A., Shaposhnikov M., Krut'ko V., Zhavoronkov A., K Kennedy B. Developing criteria for evaluation of geroprotectors as a key stage toward translation to the clinic // *Aging Cell*, 2016. V. 15. № 3. P. 407–415.

Navrotskaya V. V., Oxenkrug G., Vorobyova L. I., Summergrad P. Berberine Prolongs Life Span and Stimulates Locomotor Activity of *Drosophila melanogaster* // *Am J Plant Sci.*, 2012. V. 3. № 7A. P. 1037–1040.

Nish K., Kato M., Sakurai S., Matsumoto A., Iwase Y., Yumita N. Enoxacin with UVA Irradiation Induces Apoptosis in the AsPC1 Human Pancreatic Cancer Cell Line Through ROS Generation // *Anticancer Res.*, 2017. V. 37(11). P. 6211–6214.

Pasyukova E. G., Symonenko A. V., Rybina O. Y., Vaiserman A. M. Epigenetic enzymes: A role in aging and prospects for pharmacological targeting // *Ageing Research Reviews*, 2021. V. 67. P. 1568–1637.

Peng P. L., Kuo W. H., Tseng H. C., Chou F. P. Synergistic tumor-killing effect of radiation and berberine combined treatment in lung cancer: the contribution of autophagic cell death // *J Radiat Oncol Biol Phys.*, 2008. V. 70. № 2. P. 529–542.

Pinto S., Sato V. N., De-Souza E.A., Mor M. A. Enoxacin extends lifespan of *C. elegans* by inhibiting miR-34-5p and promoting mitohormesis // *Redox Biol.*, 2018. V. 18. P. 84–92.

Rhodes L. V., Nitschke A. M., Segar H. C., Martin E. C., Driver J. L., Elliott S., Yoon Nam S., Li M., Nephew K. P., Burow M. E., Collins-Burow B. M. The histone deacetylase inhibitor Trichostatin A alters microRNA expression profiles in apoptosis-resistant breast cancer cells // *Oncol Rep.*, 2012. V. 27. № 1. P. 6–10.

Tao D., Lu J., Sun H., Zhao Y. M., Yuan Z. G., Li X. X., Huang B. Q. Trichostatin A extends the lifespan of *Drosophila melanogaster* by elevating hsp22 expression // *Acta Biochim Biophys Sin* (Shanghai), 2004. V. 36. № 9. P. 618–622.

Wang S., Song M., Zhang B. Trichostatin A enhances radiosensitivity and radiation-induced DNA damage of esophageal cancer cells // *J Gastrointest Oncol.*, 2021. V. 12. № 5. P. 1985–1995.

Zhang F., Shao C., Chen Z., Li Y., Jing X., Huang Q. Low Dose of Trichostatin A Improves Radiation Resistance by Activating Akt/Nrf2-Dependent Antioxidation Pathway in Cancer Cells // *Radiat Res.*, 2021. V. 195. № 4. P. 3666–3677

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ У УСТОЙЧИВЫХ К ФИПРОНИЛУ И ХЛОРФЕНАПИРУ ЛИНИЙ *M. DOMESTICA*

П. А. Шумилова

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ТюмНЦ СО РАН, Тюменский государственный университет, Тюмень

E-mail: [sirota.polina@gmail.com](mailto:sirota.polina@gmail.com)

Популяции насекомых существуют в условиях острого и хронического воздействия смертельных и сублетальных концентраций инсектицидов. К числу сублетальных эффектов такого воздействия на насекомых относятся: изменение продолжительности жизни, темпов развития, роста численности популяций, изменение соотношения полов, поведения, активности размножения и плодовитости, а также, возможно изменение фенотипических признаков (массы и размеров особей). Эти эффекты могут различаться в зависимости от способов действия инсектицидов, их доз и стадии развития, подвергшейся воздействию. Их изучение важно для лучшего понимания экологических и эволюционных моделей влияния инсектицидов.

Настоящее исследование было направлено на оценку влияния сублетальных концентраций хлорфенапира и фипронила в ряду поколений на биологические параметры популяции *Musca domestica* L.

Исходная (лабораторная) линия *Musca domestica* L. была получена из Новосибирского аграрного университета в 2009 году и содержалась в условиях инсектария без контакта с инсектицидами на протяжении более 100 поколений. Лабораторную и опытные линии насекомых содержали в отдельных помещениях при стандартных условиях селекции. (Монастырский, Горбатовский, 1991).

В настоящей работе мух чувствительной лабораторной линии разделили на группы и каждую группу селектировали соответствующим методом и инсектицидом. Две группы подвергались селекции имаго методом безальтернативного кормления взрослых (3–5 суточных) насекомых в каждом поколении сахаром, обработанным раствором инсектицида-селектанта (фипронила и хлорфенапира). Другие две группы селектировались воздействием на личинок II–III возраста, путём внесения раствора инсектицида в субстрат (отруби, смоченные водой). Таким образом, были получены четыре селектированные линии: Фси – селекция имаго фипронилом; Хси – селекция имаго хлорфенапиром; Фсл – селекция личинок фипронилом; Хсл – селекция личинок хлорфенапиром (Shumilova et al., 2021). В чётных поколениях оценивали морфологические признаки (масса одной особи на всех стадиях развития), биологические параметры (развитие по длительности стадий личинки, окукливания, вылета и всех преимагинальных стадий; выживаемость оценивали в процентах окукливающихся личинок и вылетающих из куколок имаго; плодовитость учитывали по среднему числу кладок на самку и среднему числу яиц в кладке). Стати-

стический анализ полученных данных проводили с использованием среднеарифметического значения и ошибки среднего. Результаты представлены в таблице.

Таблица

**Биологические параметры лабораторной исходной (Л) и селектированных фипронилом (Ф) и хлорфенапиrom (Х) линий *M. domestica* (m±SD)**

Параметры	Лабораторная линия (Л)	Селектированные линии			
		Фсл-22	Хсл-22	Фси-22	Хси-22
Личиночная стадия, сут.	5.10±1.10	7.00±1.73	7.33±1.15	7.67±1.15	7.67±2.31
Длительность окукливания, сут.	5.10±1.91	3.00±0.00	3.67±0.58	3.33±0.58	2.67±0.58
Продолжительность вылета, сут.	4.00±1.50	2.67±0.58	2.33±0.58	5.67±0.58	6.33±2.31
Длительность предимагильных стадий (от яйца до имаго), сут.	14.36±1.97	18.33±2.89	17.00±1.73	17.33±1.15	17.67±0.58
Процент окукливания (%)	84.28±15.92	91.33±8.08	97.50±0.71	96.00±5.29	98.33±0.58
Процент вылета (%)	59.40±11.57	67.33±5.03	84.50±4.95	77.00±1.00	74.67±10.02
Соотношение полов, доля самок (%)	54.78±7.38	56.33±2.89	42.50±7.78	54.67±3.06	57.67±9.45
Среднее число кладок на самку за сутки, абс.	0.13±0.10	0.09±0.02	0.06±0.01	0.07±0.02	0.06±0.02
Среднее число яиц в кладке, абс.	60.14±15.85	67.33±11.06	58.67±8.14	83.00±16.09	81.33±19.09
Масса одной особи на разных стадиях, мг					
Личинка	13.79±4.43	21.53±8.41	15.93±2.72	17.08±1.54	18.62±2.04
Куколка	13.21±3.56	16.03±4.30	13.47±0.84	13.90±0.36	14.43±0.41
Имаго, самка в возрасте 3–5 суток	14.79±4.50	19.24±3.64	15.48±3.84	18.07±1.12	18.79±1.17
Имаго, самец в возрасте 3–5 суток	8.74±2.01	10.88±2.99	8.97±2.26	10.17±0.33	10.08±0.15

В данной работе было отмечено, что продолжительность личиночной стадии к двадцать второму поколению селектированных линий увеличилась в 1.5 раза, в сравнении с лабораторной популяцией, в то время как длительность окукливания уменьшилась в 1.4–1.9 раз. Продолжительность вылета при селекции личинок сократилась на 33–42%, но выросла при селекции имаго на 42–58%. При этом, суммарная длительность предимагинальной стадии, т.е. периода от яйца до массового вылета взрослых особей, увеличилась у всех селектированных линий. А также увеличилась выживаемость особей на отдельных стадиях развития, т.к. выросли процент окукливающихся личинок и процент вылетающих из куколок имаго.

О плодовитости популяций можно отметить, что при селекции инсектицидами на протяжении двадцати двух поколений уменьшалось число кладок из расчёта на самку. Однако, количество яиц в кладках выросло при селекции имаго (на 35–38%). Наименьшее изменение масс особей на всех этапах развития было отмечено при селекции личинок хлорфенапиrom (Хсл), а наибольшее – при селекции личинок фипронилом (Фсл). Массы личинок, куколок, взрослых самок и самцов в линии Фсл увеличились на 36%, 17%, 23% и 20% соответственно, относительно лабораторной

(контрольной) линии. Полученные результаты согласуются с данными М. П. Соколянской (2007): у имаго комнатных мух, селектированных пиретроидами, происходило достоверное увеличение массы тела и плодовитости. А также сублетальные дозы хлорорганических соединений увеличивали количество яиц, отложенных колорадским жуком на 30–65% (Pimentel, Andow, 1984).

Таким образом, сублетальное действие инсектицидов-селектантов на протяжении двадцати двух поколений повлияло на все стадии развития *M. domestica*, а именно, увеличило продолжительность личиночной стадии и время развития от яйца до взрослой особи. Влияние инсектицидного воздействия выразилось также в повышении выживаемости и плодовитости насекомых, увеличении их массы на всех стадиях развития.

*Исследование выполнено в ВНИИВЭА-филиал ТюмНЦ СО РАН при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-016-00059.*

#### ЛИТЕРАТУРА

Монастырский А. Л., Горбатовский В. В. Массовое разведение насекомых для биологической защиты растений. М.: Агропромиздат, 1991. 62 с.

Соколянская М. П. Влияние селекции фосфорорганическими и пиретроидными инсектицидами на массу имаго комнатной мухи (*Musca domestica* L.) // Агрохимия, 2007. № 6. С. 3236.

Pimentel D., Andow D. A. Pest management and pesticide impacts // Insect Sci. and Appl., 1984. V. 5. № 3. P. 141149.

Shumilova P. A., Silivanova E. A., Sennikova N. A., Levchenko M. A. Biological responses in *Musca domestica* to chronic fipronil and chlorfenapyr exposures // Regulatory Mechanisms in Biosystems, 2021. V. 12(4). P. 110. DOI: 10.15421/022191.

## МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ГЕМОПОЭТИЧЕСКИХ КЛЕТОК В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ УСТРОЙСТВА Wi-Fi (2.45 ГГц) НА ОРГАНИЗМ ПРИ ЕГО СТАРЕНИИ

**Е. А. Щурова, Н. В. Чуешова**

Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, Гомель

E-mail: [shube-lena@yandex.ru](mailto:shube-lena@yandex.ru)

Основываясь на знаниях о высокой чувствительности стволовых клеток к влиянию различных стресс-факторов, например, воздействию ионизирующего излучения, представляется актуальным изучение влияния электромагнитного поля (ЭМП) устройств Wi-Fi на морфофункциональное состояние клеток костного мозга – гемо-

поэтические стволовые клетки (ГСК), которые обладают высоким пролиферативным потенциалом.

В единичных работах было показано, что ЭМП влияет на экспрессию генов и процесс дифференцировки стволовых клеток посредством эпигенетических механизмов. Тем не менее, до сих пор отсутствуют данные о биологических эффектах воздействия ЭМП диапазона радиочастот на стволовые клетки и, соответственно, остается открытым вопрос о безопасности использования устройств – источников ЭМП, что является необходимым критерием оценки при разработке гигиенических нормативов. Учитывая то, что основной эффект связан с длительностью воздействия, представляется целесообразным изучение состояния активно пролиферирующих клеток (стволовые клетки) у организма, подвергнутого хроническому воздействию ЭМП РЧ.

Целью исследования являлась экспериментальная оценка морфофункционального состояния клеток костного мозга организма при его старении в условиях хронического воздействия электромагнитного поля устройства Wi-Fi (2.45 ГГц).

Исследования были выполнены на 12 белых крысах-самцах линии Вистар в возрасте 50–52 сут. и массой  $160.14 \pm 1.44$  г на начало эксперимента. Все животные были разделены на две группы ( $n=6$ ): 1. – Контроль; 2 Wi-Fi – животные, подвергнутые воздействию ЭМП устройства Wi-Fi до 18-месячного возраста животных.

Животные содержались в оптимальных условиях вивария Института радиобиологии НАН Беларуси согласно санитарным правилам норм 2.1.2.12-18-2006 «Устройство, оборудование и содержание экспериментально-биологических клиник (вивариев)».

Источником ЭМП являлся маршрутизатор Netis WF2780. Облучение проводилось на частоте 2.45 ГГц, 24 час/день. Плотность потока электромагнитной энергии (ППЭ) в клетке измерялась прибором ПЗ-41 и находилась в пределах 0.26–1.56 мкВт/см<sup>2</sup>. Тканевым источником ГСК являлся красный костный мозг, полученный путем вымывания содержимого бедренной кости (после удаления эпифизов) физиологическим раствором, содержащим 10% сыворотку крупного рогатого скота (BioloT, РФ) с последующим центрифугированием на градиенте плотности Histopaque-1077.

Проводили анализ клеточного цикла (Зурочка и др., 2014), апоптотической активности (н-р ANNEXIN-V-FITC, Invitrogen), микроядерный тест (Bruce et al., 2007), а также анализ на наличие одно- и двунитевых разрывов ДНК адаптированным методом, используемым для анализа структуры хроматина в сперматозоидах по Evenson, D.P. Детекцию и анализ вышеперечисленных показателей морфофункциональной активности ГСК проводили на проточном цитофлуориметре Cytomics FC 500 (Beckman Coulter, США), укомплектованным аргоно-ионным лазером с длиной волны 488 нм. Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием пакета статистических программ Graph Pad Prism 8.3. Значимость

наблюдаемых отличий двух независимых групп по количественному признаку оценивали с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни (Mann-Whitney, U-test). Различия считали статистически значимыми при вероятности ошибки менее 5% ( $p < 0.05$ ).

Сравнительный анализ медиан выживаемости у 18-месячных животных показал, что у популяции ГСК наблюдается снижение процента клеток на стадии позднего апоптоза, что соответствовало в группе контроля 1.90 (1.65; 2.03) против 1.30 (1.05; 1.75) в группе облучения ( $p = 0.048$ ) при незначительном увеличении жизнеспособных клеток 97.10 (96.45; 97.25) против 96.50 (96.30; 96.98) в группе контроля ( $p = 0.193$ ), клеток в стадии раннего апоптоза 0.50 (0.20; 0.70) против 0.40 (0.35; 0.55) в группе контроля ( $p = 0.766$ ) и некротических клеток 1.20 (0.95; 1.53) против 1.00 (0.78; 1.28) в группе контроля ( $p = 0.379$ ).

Тест на наличие микроядер в клетках является универсальным маркером нарушения клеточного деления или фрагментации ядра во время апоптоза. Сравнивая медианы значений частоты микроядер ГСК обнаружено их статистически значимое повышение ( $p = 0.029$ ), чем у контрольных животных, а именно 0.45 (0.40; 0.58) против 0.10 (0.06; 0.25) контрольного значения.

Известно, что деление и созревание клеток, а также апоптоз сопровождаются многочисленными разрывами нитей ДНК под воздействием эндонуклеаз, поэтому изучение хроматина клеток является показателем, отражающим состояние наследственного аппарата. Следует отметить, что у животных 18-месячного возраста не было обнаружено статистически значимых изменений в структуре ДНК гемопоэтических клеток.

Использование проточной цитометрии позволяет обнаруживать клетки, находящиеся в G1/G0 (пресинтетическая фаза / стадия покоя), S (синтетическая фаза), G2/M (постсинтетическая фаза / митоз) фазах клеточного цикла. При изучении клеточного цикла костномозговых ГСК установлено статистически значимое ( $p=0.04$ ) снижение количества клеток, находящихся в G0/G1-фазе, что соответствовало 67.45 (65.62; 69.59) в группе облучения против 72.97 (68.93; 77.82) контрольного значения. Выявленное снижение доли клеток на стадии покоя сопровождается нарастанием клеток в G2/M-фазе (22.20 (20.73; 23.27) в группе облучения против 19.08 (14.01; 23.83) контрольного значения,  $p = 0.394$ ) – стадии подготовки клеток к митозу и непосредственно их деление, что может указывать на нарушение регуляции контроля клеточного цикла. Многие исследователи данную стимуляцию пролиферации рассматривают как один из ключевых факторов геномной и хромосомной нестабильности, способствующей онкогенезу (Zhao et al., 2021).

Таким образом, полученные данные указывают на то, что хроническое воздействие ЭМП устройств Wi-Fi (2.45 ГГц, ППЭ=0.26–1.56 мкВт/см<sup>2</sup>, 24 ч/день) способно вызывать определенные изменения в морфофункциональном состоянии клеток костного мозга. Усиление пролиферации ГСК можно рассматривать как механизмы



физиологической адаптации организма к хроническому воздействию низкоинтенсивного ЭМП.

#### ЛИТЕРАТУРА

*Зурочка А. В., Хайдуков С. В., Кудрявцев И. В., Черешнев В. А.* Проточная цитометрия в медицине и биологии. 2-е издание дополненное и расширенное. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 576 с.

*Bryce S. M., Bemis J. C., Avlasevich S. L., Dertinger S. D.* In vitro micronucleus assay scored by flow cytometry provides a comprehensive evaluation of cytogenetic damage and cytotoxicity // *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2007. V. 630. № 1–2. P. 7891.

*Zhao H., Yi B., Liang Z., Phillips C. N., Lin H.-Y., Riker A. I., Xi Y.* Cyclin G2, a novel target of sulindac to inhibit cell cycle progression in colorectal cancer // *Genes & Diseases*, 2021. V. 8. № 3. P. 320330.

**Секция 5**  
**ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ**  
**РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ**

---

**СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ В КЛЕТКАХ**  
**ЗЕЛЕННЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ ИЗ СЕМ. SCENEDESMACEAE**

**А. В. Андреева\*\* , В. С. Паршуков\* , И. В. Новаковская\* , О. В. Дымова\***

\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар  
E-mail: [dymovao@ib.komisc.ru](mailto:dymovao@ib.komisc.ru)

\*\*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар  
E-mail: [faraon.andreewa2013@yandex.ru](mailto:faraon.andreewa2013@yandex.ru)

Микроводоросли (МВ) – это одноклеточные, иногда колониальные, фотоавтотрофы. МВ являются неотъемлемой частью биосферы и принимают активное участие в круговороте веществ. МВ представляют большой интерес из-за содержания различных биологически активных веществ, антиоксидантов, минералов, аминокислот и витаминов. МВ (такие как *Chlorella*, *Scenedesmus*) используются в различных отраслях промышленности в качестве пищевых добавок, как биоиндикаторы для определения токсичности воды и почвы, для повышения плодородия почв, в очистке сточных вод сельского хозяйства, др. Особый интерес представляют каротиноиды (Кар) МВ. Они являются провитаминами и эффективными антиоксидантами, препятствуют развитию возрастных и онкологических заболеваний. Помимо фармакологических свойств Кар используют как добавки и красители в пищевой промышленности и аквакультуре (Соловченко, 2013).

Для исследований был использован штамм зеленой водоросли *Coelastrella sp.*, выделенный в 2016 году из почвы пятнистой кустарниково-лишайниковой тундры на Северном Урале (Novakovskaya et al., 2021). В настоящее время проводится молекулярно-генетический анализ этого штамма для описания нового вида. Среди основных биотехнологических преимуществ штаммов *Coelastrella* можно выделить: (1) способность одновременно накапливать большие концентрации липидов и Кар (Abe et al., 2007; Minyuk et al., 2017); (2) высокое содержание витамина Е в биомассе (Mudimu et al., 2017); (3) растительный источник омега-3 полиненасыщенных жир-

ных кислот с концентрацией более 50% (Мальцева и др., 2022); (4) получение из клеточных липидов высококачественного биодизеля по стандарту EN14214 (Minyuk et al., 2017).

В качестве контроля была использована микроводоросль *Scenedesmus quadricauda*. Выращивание *S. quadricauda* проводилось двумя способами: (1) в лабораторной колбе культуру аэрировали с помощью аэратора; (2) в культиваторе водорослей KB-05. Интенсивность света составляла в среднем 65 мкмоль фотонов/(м<sup>2</sup> с) с круглосуточным освещением. Водоросль культивировали в среде Прата (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, KNO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·3H<sub>2</sub>O, FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O). Клетки *Coelastrella* выращивали в лабораторной колбе с дополнительным аэрированием на среде Прата.

Изучение биохимических показателей проводили во время экспоненциальной фазы роста (15 суток культивирования). Перед определением биохимических характеристик клетки МВ отмывали от среды дистиллированной водой, осаждали центрифугированием (4000 об/мин, 10 мин) и удаляли жидкость над осадком. Операцию повторяли три раза. Культуры МВ центрифугировали и замораживали жидким азотом для дальнейшей экстракции пигментов и хроматографического анализа.

Хлорофиллы (Хл) являются важными пигментами поглощения световой энергии для фотосинтеза, высокая интенсивность которого способствует увеличению биомассы клеток при благоприятных условиях роста. В результате исследований установлено, что в экспоненциальной («зеленой») фазе роста накопление Хл наблюдали в колбе с дополнительным аэрированием. Максимально накапливали Хл клетки *Scenedesmus* – до 2.3% сухой массы (табл. 1), при этом концентрация Хл *a* достигала 17.2 мг/г или 1.72%.

Таблица 1

**Содержание хлорофиллов (Хл) и каротиноидов (Кар) в клетках микроводорослей, мг/г сухой массы**

Виды	Варианты	Хл <i>a</i>	Хл <i>a+b</i>	Хл <i>a/b</i>	Сумма Кар
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	I	4.60 ± 0.40 <sup>a</sup>	6.59 ± 0.41 <sup>a</sup>	2.3	1.80 ± 0.05 <sup>a</sup>
	II	17.23 ± 1.52 <sup>bc</sup>	22.89 ± 1.58 <sup>c</sup>	3.0	5.05 ± 0.87 <sup>b</sup>
<i>Coelastrella</i>	II	13.43 ± 0.44 <sup>b</sup>	16.12 ± 0.64 <sup>b</sup>	5.0	4.21 ± 0.43 <sup>b</sup>

Примечание. I – выращивание в культиваторе KB-05 без аэрирования, II – выращивание в лабораторной колбе с аэрированием. Разные надстрочные символы обозначают статистическую значимость изменений параметра (ANOVA, тест Дункана,  $P \leq 0.05$ ).

При культивировании *Coelastrella* полученные нами результаты по количеству Хл в экспоненциальной («зеленой») фазе роста сопоставимы с данными по штамму *Coelastrella multistriata* (MZ–Ch23) (Мальцева и др., 2022), *Coelastrella striolata* var. *multistriata* (Abe et al., 2007).

Для двух изученных нами видов установлено общее содержание Кар на уровне 4.2–5.1 мг/г (0.42–0.51% сухой массы). В клетках присутствовали β-каротин и ксантофиллы – неоксантин, лютеин, виолаксантин, антраксантин и зеаксантин (табл. 2).

Согласно (Abe et al., 2007) штамм *C. striolata* var. *multistriata* характеризовался содержанием β-каротина, а также вторичными Кар – кантаксантином и астаксантином – в количестве 0.84 % сухой биомассы во время «зеленой» фазы роста.

Таблица 2

## Содержание индивидуальных каротиноидов в клетках микроводорослей, %

Виды	Варианты	Нео-ксантин	Виола-ксантин	Антера-ксантин	Лютеин	Зеа-ксантин	β-каротин
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	I	19	13	1	45	7	15
	II	32	11	1	36	2	18
<i>Coelastrella</i>	II	24	9	2	44	1	20

Примечание. I – выращивание в культиваторе КВ-05 без аэрирования, II – выращивание в лабораторной колбе с аэрированием. Разные надстрочные символы обозначают статистическую значимость изменений параметра (ANOVA, тест Дункана,  $P \leq 0.05$ ).

Заключили, что оптимальными условиями для получения обогащенной Хл и Кар биомассы *Scenedesmus* и *Coelastrella* являются культивирование на среде Прата в колбе с дополнительным аэрированием в течении 15 суток. *Scenedesmus* и *Coelastrella* являются перспективными видами для биотехнологического использования. В ходе дальнейших исследований новый штамм *Coelastrella* SYKOA Ch-072-17 может представлять интерес как источник для получения биологически активных веществ.

Финансирование исследований осуществлялось из средств федерального бюджета (№№122040600021-4 и 122040600026-9).

## ЛИТЕРАТУРА

Мальцева С. Ю., Куликовский М. С., Мальцев Е. И. Функциональное состояние *Coelastrella multistriata* (Sphaeropleales, Chlorophyta) в накопительной культуре // Микробиология, 2022. Т. 91. № 5. С.565–575.

Abe K., Hattori H., Hirano M. Accumulation and antioxidant activity of secondary carotenoids in the aerial microalga *Coelastrella striolata* var. *multistriata* // Food chemistry, 2007. V. 100. № 2. P. 656–661.

Minyuk G., Chelebieva E., Chubchikova I., Dantsyuk N., Drobetskaya I., Sakhon E., Chivkunova O., Chekanov K., Lobakova E., Sidorov R., Solovchenko A. pH and CO<sub>2</sub> effects on *Coelastrella* (*Scotiellopsis*) *rubescens* growth and metabolism // Russ. J. Plant Physiol., 2016. V. 63. P. 566–574.

Mudimu O., Koopmann I. K., Rybalka N., Friedl T., Schulz R., Bilger W. Screening of microalgae and cyanobacteria strains for α-tocopherol content at different growth phases and the influence of nitrate reduction on α-tocopherol production // J. App. Phycol., 2017. V. 29. P. 2867–2875.

Novakovskaya I. V., Egorova I., Kulakova N., Patova E., Shadrin D., Anissimova O. Morphological and phylogenetic relations of members of the genus *Coelastrella* (Scenedesmaceae, Chlorophyta) from the Ural and Khentii Mountains (Russia, Mongolia) // Phytotaxa, 2021. V. 27. № 1. P. 1–20.

## СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КРИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ ПОЧЕК ВОЗОБНОВЛЕНИЯ *HYLOTELEPHIUM TRIPHYLLUM*

**М. С. Атоян**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [marinaatoyan@ib.komisc.ru](mailto:marinaatoyan@ib.komisc.ru)

Одним из основных направлений исследований в современной физиологии растений – устойчивость организмов к неблагоприятным факторам среды (Трунова, 2007). Важным аспектом этих исследований является изучение адаптации растений и поддержание ими устойчивого состояния на протяжении длительного действия стрессовых факторов. Было показано, что адаптация растений к условиям зимнего периода вызывает многочисленные перестройки в метаболизме растений и связана с их видовыми особенностями. Установлено, что эти процессы тесно сопряжены с условиями и продолжительностью осеннего роста и развития растений, а также действием факторов абиотической природы (Mahajan, Tuteja, 2005). Основной причиной гибели клетки при отрицательных температурах является льдообразование, в результате которого происходит обезвоживание и механическое повреждение клеточных структур кристаллами льда (Самыгин, 1974; Трунова, 2007). Последствия воздействия низких температур в значительной степени зависят от оводненности, содержания свободной и связанной воды в тканях растений.

Важность изучения механизмов низкотемпературной устойчивости зачаточных тканей, обладающих большой чувствительностью к условиям перезимовки, заключается в том, что они определяют выживание растений в целом.

Объектом исследования являлись почки гемикриптофита *Hylotelephium trephyllum* (Naw.) Holub. Данный вид характеризуется высокой адаптивной пластичностью (Бабак, 2005). Почки гемикриптофитов, которые располагаются над поверхностью почвы, могут быть повреждены отрицательными температурами осеннего периода, ввиду не сформировавшегося снегового покрова, а так же отрицательными температурами при возвратных заморозках поздней весной.

Исследования проводили в августе, ноябре, декабре и апреле 2022 года. Измерения температуры кристаллизации и доли замерзшей воды в почках возобновления проводили на калориметре DSC-60 Shimadzu (Япония). Содержание углеводов оценивали спектрофотометрическим методом по колориметрированию избытка щелочного раствора гексацианоферрата (III) калия после реакции с редуцирующими сахарами. Проведен анализ морфометрических показателей почек возобновления.

Рост растений не является непрерывным процессом. У большинства растений происходят периоды резкого замедления или почти полной приостановки ростовых процессов – периоды покоя (Миронов и др., 2001). Покоем называется состояние растений, при котором отсутствуют видимые процессы роста, снижается интенсив-

ность обмена веществ. У растений отмечаются вынужденный и физиологический покой. Вынужденный покой – это состояние замедленного метаболизма, обусловленное внешними факторами. Переход растений или его органов в покоящееся состояние, прежде всего, является приспособлением к перенесению неблагоприятных условий.

По данным, полученным в ходе измерения морфометрических показателей в течение всего исследуемого периода, был отмечен рост главным образом зачаточного стебля почек возобновления *H. trephyllum*, что вероятно связано с состоянием вынужденного покоя. В годовой динамике температур г. Сыктывкара в районе исследований четко выражен достаточно продолжительный холодный период, когда преобладают отрицательные температуры и активная жизнедеятельность растений невозможна (расписание погоды // <https://rp5.ru>). По литературным данным выявлено, что при наличии снежного покрова высотой более 10 см температура почвы на глубине 15 см остается стабильной (до  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в отдельных случаях опускаясь до  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Дальке и др., 2019).

Результаты измерения температуры замерзания воды в почках показали, что вода кристаллизовалась в узком диапазоне температур от  $-4$  до  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Следует отметить, что по данным ряда авторов в диапазоне от  $0$  до  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  кристаллизуется вода, которая, как правило, является свободной и находится в растворимой фазе цитоплазмы или межклетниках (Миронов и др., 2001). В наших исследованиях наименьшая температура замерзания воды зафиксирована в августе, в дальнейшем в течение осени, зимы и весны температура замерзания воды в почках возобновления *H. trephyllum* мало изменялась и была приблизительно равна  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Изменение количества внутриклеточной воды является одним из основных факторов сохранения жизнеспособности растений (Миронов и др., 2001). Особое значение количество воды в тканях приобретает в период действия на растение низких отрицательных температур, как правило, в тканях растений снижается оводненность и возрастает количество связанной не замерзающей воды. Благодаря методу DSC-калориметрии мы можем определить не только температуру кристаллизации воды, но и ее фракции. В период исследования оводненность почек возобновления *H. trephyllum* не изменялась и составляла около 80%, в августе и апреле вода была представлена фракцией свободной воды, вся вода в почках возобновления замерзла, однако в ноябре и декабре появляется фракция связанной воды, ее появление может быть связано с ростом концентрации криопротекторов.

Содержание растворимых углеводов в побегах возобновления *H. triphyllum* в сентябре было  $59.5 \pm 0.7$  мг/г сухой массы, в ноябре –  $77.9 \pm 0.4$  мг/г сухой массы и декабре –  $105.8 \pm 2.5$  мг/г сухой массы. С осени к зиме количество растворимых углеводов увеличивалось, так же как и доля незамерзающей воды. В апреле количество углеводов существенно снизилось ( $5.1 \pm 1$  мг/г сухой массы), что возможно связано с активирующимися ростовыми процессами в весенний период. Снижение количества

криопротекторов может быть причиной такого существенного количества замерзшей свободной воды в данном месяце.

Установлено, что с августа до конца апреля в почках возобновления *H. trephylum* проходит изменение линейных размеров. К весне отрастает главным образом зачаточный стебель с сформированными на нем зачаточными листьями, конус нарастания в размере почти не изменяется, но приобретает более оформленные черты. Показано, что оводненность тканей почек в течение периодов наблюдений изменялась незначительно и составляла около 80%, при этом больше половины от содержащейся воды замерзало в диапазоне от -4 °С до -6 °С.

Высокая оводненность и отсутствие ее существенных изменений в течение исследуемого периода указывает на низкую криорезистентность меристематических тканей почек *H. trephylum*. Это позволяет сказать, что при ранних осенних или поздних весенних заморозках существенно возрастает риск повреждения побегов возобновления, что может сказаться на развитии ценопопуляции данного вида.

#### ЛИТЕРАТУРА

Бабак Т. В. Биология и экология видов рода *Sedum* L. SL таежной зоны европейского северо-востока России : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2005. 24 с.

Миронов П. В., Алаудинова Е. В., Репях С. М. Низкотемпературная устойчивость живых тканей хвойных. Красноярск, 2001. 221 с.

Самыгин Г. А. Причины вымерзания растений. М.: Наука, 1974. 191 с.

Трунова Т. И. Растение и низкотемпературный стресс. М.: Наука, 2007. 54 с.

Mahajan, S. and Tuteja, N. Cold, salinity and drought stresses: an overview // Archives of Biochemistry and Biophysics, 2005. V. 444. P. 139–158.

### **АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И ТОПОЛЯ ЧЕРНОГО, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА НА ТЕРРИТОРИИ г. ЧЕЛЯБИНСКА**

**С. В. Беренцева**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

E-mail: [berentseva.sus@gmail.com](mailto:berentseva.sus@gmail.com)

На территории г. Челябинска располагаются крупнейшие в России по объему выпускаемой продукции металлургические предприятия, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду. В условиях техногенной нагрузки в тканях растений происходит ряд изменений, как на физиологическом уровне, так и на морфо-

логическом, по которым можно судить о степени влияния загрязнения на растения и окружающую среду в целом и использовать растения в качестве биоиндикаторов (Уразгильдин, Кулагин, 2021). Наиболее доступный и достоверный способ биондикикации – изучение ассимиляционного аппарата древесных растений, подвергающихся воздействию негативных факторов среды с момента формирования и на протяжении всего периода вегетации (Суслина и др., 2021).

Цель работы – выявление адаптационных изменений в строении листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) и тополя черного (*Populus nigra* L.) в условиях техногенного загрязнения.

Объектами исследования были два широко распространенных на территории г. Челябинска вида древесных растений: береза повислая и тополь черный, произрастающие в непосредственной близости от Челябинского металлургического комбината полного цикла и других сопутствующих предприятий металлургического комплекса.

Было выбрано шесть площадок вокруг промышленной территории с учетом преобладающих ветров в вегетационный период, две из них фоновые. В качестве фоновой территории использовали Каштакский бор, окаймляющий промзону южной и юго-восточной частью.

На каждой площадке выбирали по три дерева березы и тополя, причем так, чтобы оба вида произрастали максимально близко друг к другу и таким образом находились в одинаковых условиях. С южной стороны кроны деревьев, на высоте 1.5–2.0 метра от земли, отбирали листья срединной формации. Из средней части 20 листьев брали высечки, образцы фиксировали в 70% этиловом спирте. С каждого листа на замораживающем микротоме делали поперечные срезы. В программе SIMAGIS измеряли толщину листа, мезофилла, верхнего и нижнего эпидермиса, столбчатого мезофилла и кутикулы (для березы). Площадь листьев измеряли в программе JMicroVision, данные обрабатывали в MicrosoftExcel.

Для листьев изученных видов характерен дорзовентральный тип строения мезофилла. При этом в структуре листовой пластинки тополя было отмечено два слоя столбчатого мезофилла, а у березы – только один слой. В целом у этих видов наблюдалась общая тенденция к увеличению толщины листа в условиях техногенной нагрузки (табл.). Максимальное увеличение толщины листа у березы и тополя составляло 37% и 21% соответственно. Для березы характерно увеличение толщины листа за счет обоих типов мезофилла, что согласуется с результатами исследований других авторов (Егорова, Нафикова, 2011; Легощина и др., 2019), также увеличивалась толщина кутикулы. У тополя увеличение толщины листа наблюдалось не так существенно и происходило за счет столбчатого мезофилла.

Площадь листьев березы уменьшалась в условиях техногенной нагрузки в среднем на 20% и максимум на 63% по сравнению с фоном, уменьшение площади листьев у этого вида было показано и ранее (Колмогоров и др., 2012). Для тополя обнаружена обратная тенденция: происходило увеличение площади листьев в сред-



нем на 20% и максимум на 22% по сравнению с фоном. Так как увеличение площади листовой пластинки у тополя наблюдалось на участках вблизи крупных автодорог с активным трафиком, где содержание выхлопных газов выше, чем на границе предприятия и вблизи дороги с низкой загруженностью, то предположительно избыток в воздухе CO<sub>2</sub> мог способствовать росту листовой пластинки (Liberloo, 2006).

Таблица

**Сравнительная характеристика анатомической структуры листьев изучаемых древесных растений по средним значениям**

Показатели	Исследуемые виды			
	Береза повислая		Тополь черный	
	Импакт	Фон	Импакт	Фон
Толщина листа, мкм	172.41±4.40	160.92±8.57	187.67±4.40	182.83±2.55
Кутикула верхнего эпидермиса, мкм	8.06±0.12	6.84±0.22	–	–
Толщина верхнего эпидермиса, мкм	19.42±0.73	19.90±1.64	16.05±0.34	15.57±0.08
Толщина нижнего эпидермиса, мкм	14.52±0.47	12.89±0.73	12.70±0.22	12.38±0.02
Толщина мезофилла, мкм	128.97±3.21	119.90±6.14	159.63±4.04	155.50±3.13
Толщина столбчатого мезофилла, мкм	40.53±0.58	37.73±2.79	81.49±2.57	72.02±3.57
Площадь листа, см <sup>2</sup>	16.01±0.56	20.48±2.46	34.88±2.08	28.56±2.13

Таким образом, в условиях техногенной нагрузки у березы повислой и тополя черного наблюдались изменения на морфофизиологическом уровне, выражающиеся в изменении толщины листа, столбчатого мезофилла, кутикулы и площади листа. При этом на загрязненных участках для березы было характерно увеличение толщины мезофилла, кутикулы и уменьшение площади листьев, а для тополя черного – увеличение толщины столбчатого мезофилла и развитие крупных листовых пластинок.

#### ЛИТЕРАТУРА

Егорова Н. Н., Кулагин А. А. Особенности строения ассимиляционных органов лесобразующих видов в техногенных условиях // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии, 2007. Т. 16. №3 (21). С. 463–476.

Егорова Н. Н., Нафикова А. Т. Изменчивость признаков анатомического строения ассимилирующих органов березы повислой и тополя бальзамического в экстремальных лесорастительных условиях // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2011. Т. 13. № 5-2. С. 165–168.

Колмогорова Е. Ю., Кайдорина В. А., Неверова О. А. Морфофизиологическая оценка состояния березы повислой в условиях действия выбросов автотранспорта // Лесной журнал, 2012. № 2. С. 20–27. (Известия высших учебных заведений).

Легощина О. М., Цандекова О. Л., Колмогорова Е. Ю. Структурные перестройки листового аппарата *Betula pendula* Roth на отвалах угледобывающей промышленности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2019. Т. 21. № 2-2. С. 199–203.

Суслина М. А., Сунцова Л. Н., Иншаков Е. М. Использование лиственных древесных растений для оценки экологического состояния окружающей среды // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: сборник трудов конференции, 2021. С. 84–87

Уразгильдин Р. В., Кулагин А. Ю. Техногенез и структурно-функциональные реакции древесных видов: повреждения, адаптации, стратегии. Часть 2. Влияние на физиологические функции // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера», 2021. Т. 13. № 3. С. 101–119.

Liberloo M. Woody biomass production during the second rotation of a bio-energy Populus plantation increases in a future high CO<sub>2</sub> world // Glob. Change Biol., 2006. V. 12. № 6. P. 1094–1106.

## **ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВЫХ ФАКТОРОВ НА ФЛУОРЕСЦЕНЦИЮ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЬЯХ *ARABIDOPSIS THALIANA* ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ЭКОТИПА**

**Я. А. Блинова\*, Д. Д. Бабина\*, М. С. Подлущий\*, М. Ю. Подобед\*, А. А. Празян\*,  
П. Ю. Волкова\*\*, Е. А. Казакова\***

\* Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,  
Обнинск

E-mail: [yana.manuhina@yandex.ru](mailto:yana.manuhina@yandex.ru)

\*\*Независимый исследователь

В результате аварии на Чернобыльской АЭС образовались обширные территории, загрязненные радионуклидами. Такие территории являются уникальными площадками для изучения последствий длительного радиационного воздействия на живые организмы.

Растения, произрастающие на радиоактивно загрязненных территориях и испытывающие хроническое радиационное воздействие, могут быть более устойчивы к агентам, повреждающим ДНК (Шевченко и др., 2012; Kovalchuk et al., 2004). Так в нашей предыдущей работе было показано, что растения *Arabidopsis thaliana*, выросшие из семян с радиоактивно загрязненных участков чернобыльской зоны отчуждения, оказались менее чувствительны к острому  $\gamma$ -облучению семян, что вероятно, отражает процесс адаптации популяции к данным условиям существования (Podlutskiy et al., 2022). В этом исследовании нам было интересно проследить сохраняется ли адаптация к дополнительным стрессорам у следующего поколения *A. thaliana*, полученного в лабораторных условиях из семян, собранных в чернобыльской зоне отчуждения.

Таким образом, целью работы была оценка устойчивости потомков *Arabidopsis thaliana* L. чернобыльского экотипа по показателям флуоресценции хлорофилла после индукции абиотического стресса.

В качестве объектов исследования были выбраны линии семян модельного растения *A. thaliana* L. чернобыльского экотипа. Для получения таких линий в июне 2021 года в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике (Республика Беларусь, Гомельская область) на участках с разным уровнем радиоактивного загрязнения были собраны семена *A. thaliana* с каждого растения индивидуально. Участок Бабчин был выбран в качестве референтного. Мощность амбиентной дозы (МАД) на данном участке – 0.3 мкЗв/ч. Масаны – радиоактивно загрязненный участок (МАД на участке – 3.2 мкЗв/ч). Затем собранные с участков семена выращивали в лабораторных условиях полный вегетационный период (~ 3 месяца) и получили семенные линии потомков растений без «отягощения» микробиомом и эпигенетическими метками, которые использовали в дальнейшей работе.

Для оценки устойчивости потомков *A. thaliana* чернобыльского экотипа к дополнительному воздействию стрессоров семена были подвергнуты острому  $\gamma$ -облучению на уникальной научной установке ГУР-120 ( $^{60}\text{Co}$ , 150 Гр, 463 Гр/ч, ФГБНУ ВНИИРАЭ) и гипертермической обработке (50 °С, 12 часов (Термостат BINDER BD 115)). В качестве контроля использовали семена без воздействия абиотических стрессоров. Перед посадкой производилась стратификация в течение 24 суток в холодильнике (+4 °С). Семена высевали на среду Мурасиге-Скуга половинной концентрации в чашки Петри. Чашки помещали в фитотрон (MLR-352 (Panasonic), ЛиА-3) со следующими параметрами: интенсивность света – 80 мкмоль/м<sup>2</sup>·с<sup>-1</sup>, влажность – 55%, температура – 20–21 °С, режим светового дня – 16 ч / 8 ч.

Параметры флуоресценции хлорофилла оценивали на 19 сутки с помощью универсального пульс-амплитудного флуориметра Junior-PAM (Walz, Германия) в соответствии с протоколом производителя, используя программное обеспечение WinControl-3 software.

Для анализа и визуализации результатов использовали MS Office Excel 2019. Данные показателей флуоресценции хлорофилла представляли в формате «Медиана (Q1; Q3)». Выборки проверяли на наличие выбросов. Для оценки различий использовали U-критерий Манна-Уитни непараметрической статистики в STATISTICA 8.0.

Воздействие стрессовых факторов оказало влияние на параметры фотосинтеза. У потомков с участка с фоновым уровнем радиоактивного загрязнения Бабчин воздействие гипертермии привело к повышению показателей квантового выхода нефотохимического тушения флуоресценции  $Y(NPQ)$  и коэффициента фотохимического тушения с учетом взаимосвязанных антенн  $qL$ ; воздействие облучения – к понижению показателя коэффициента нефотохимического тушения флуоресценции Штерн-Фольмеровского типа NPQ. Вероятно, модуляция процессов фотосинтеза в листьях

потомков растений с участка Бабчин способствовала тому, чтобы избежать фотоповреждений при действии повышенной температуры за счет удаления избытка энергии путем теплового рассеивания. Облучение семян же не привело к нарушениям в процессах фотосинтеза.

На потомков с участка с высоким уровнем радиоактивного загрязнения Масаны воздействие гипертермии на семена привело к понижению максимального выхода флуоресценции  $F_v/F_m$ ; а влияние облучения – к снижению параметра максимального квантового выхода флуоресценции  $F_v/F_m$  и к увеличению нефотохимического тушения флуоресценции  $q_N$ . Вероятно, так растения стараются нивелировать последствия, вызванные стрессорами.

Таким образом, адаптивная реакция потомков растений с участка Бабчин, оцененная по параметрам флуоресценции хлорофилла, указывала на устойчивость к воздействию облучения и чувствительность к гипертермии. Потомки *A. thaliana* с участка Масаны были более чувствительны к действию как гипертермии, так и острого  $\gamma$ -излучения.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-74-10004).*

#### ЛИТЕРАТУРА

Шевченко Г. В., Талалаев А. С., Дунан Д. Стойкость проростков *Arabidopsis thaliana* из зоны Чернобыльской АЭС к действию ДНК-повреждающих факторов // Доповіді НАН України, 2012. № 12. С. 157–162.

Kovalchuk I., Abramov V., Pogribny I., Kovalchuk O. Molecular Aspects of Plant Adaptation to Life in the Chernobyl Zone // Plant Physiology, 2004. V. 135. № 1. P. 357–363.

Podlutskii M., Babina D., Podobed M., Bondarenko E., Bitarishvili S., Blinova Y., Shesterikova E., Prazyan A., Turchin L., Garbaruk D., Kudin M., T Duarte G., Volkova P. *Arabidopsis thaliana* Accessions from the Chernobyl Exclusion Zone Show Decreased Sensitivity to Additional Acute Irradiation // Plants, 2022. V. 11. № 22. С. 3142. Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/plants11223142>

## СИНЕРГИЗМ НОВЫХ ГАЛОГЕНИРОВАННЫХ ФУРАНОНОВ С АНТИБИОТИКАМИ ДЛЯ ШТАММОВ С РАЗЛИЧНЫМ ПРОФИЛЕМ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ

Ю. Р. Гусманова, Э. В. Бабынин

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

E-mail: [ju.gusmanova@yandex.ru](mailto:ju.gusmanova@yandex.ru), [edward.b67@mail.ru](mailto:edward.b67@mail.ru)

Фураноны представляют собой семейство структурно родственных молекул, характеризующихся наличием 5-членного гетероциклического кольца фурана. Галогенированные фураноны благодаря своей сходной структуре с сигнальными молекулами бактерий ацил-гомосеринлактонами (АГЛ) ингибируют образование биопленок (Zang et al., 2009). Механизм образования биопленок повышает резистентность микроорганизмов к антимикробным соединениям (Sharma et al., 2019). Таким образом, галогенированные фураноны рассматриваются как потенциальные антибактериальные агенты.

Галогенированные фураноны, первоначально экстрагированные из красной водоросли *Delisea pulchra*, обладают сильным антимикробным действием против различных видов бактерий и ингибируют образование биопленок (Hentzer, Givskov, 2003; Proctor et al., 2020). Галогенированные производные фуранона различаются по своей способности ингибировать рост биопленок и цитотоксичности (Gómez et al., 2022). Ингибиторы кворума могут помочь снизить вирулентность, уменьшить образование биопленок и повысить чувствительность бактерий к лекарственной терапии. Их эффект может зависеть от антибиотика, с которым они сочетаются. Синергетический эффект между широко используемыми антибиотиками и ингибиторами кворума может иметь терапевтическое применение.

Целью этого исследования был поиск синергетического эффекта между антибиотиками и галогенированными фуранонами.

Объект исследования: объектом исследования являются штаммы микроорганизмов: *Achromobacter xylosoxidans*, *Brevibacillus laterosporus*, *Staphylococcus warneri*, *Bacillus thuringiensis*, *Pseudomonas stutzeri* были предоставлены д.б.н. И. А. Дегтяревой, Татарский научно-исследовательский институт агрохимии и почвоведения, Казань; *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium* любезно предоставлены профессором КФУ, д.б.н. О. Н. Ильинской.

Исследуемые соединения: галогенированные фураноны были синтезированы А.Р. Курбангалиевой на кафедре органической химии Химического института им. А. М. Бутлерова, Казанский федеральный университет (рис. 1).

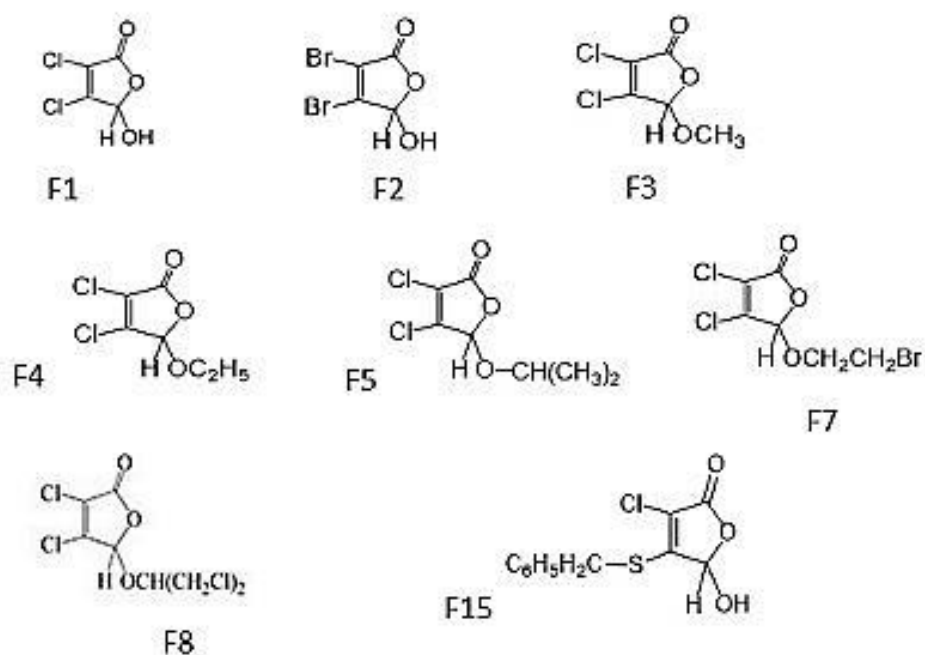


Рис. 1. Галогенированные фураноны.

Определение минимальной подавляющей концентрации МПК фуранонов проводили с помощью серийных разведений в 96-луночном планшете и измерения оптической плотности (ОП). Ночную культуру бактерий разводили в питательном бульоне до оптической плотности (ОП<sub>600</sub>) 0.04 и вносили в лунки 96-луночного планшета. Фураноны вносили в первую лунку, ресуспендировали и путем последовательного переноса создавали ряд двукратных разведений. В последнюю лунку фуранон не переносили, т.о. эти лунки выступали как контроль. Планшеты инкубировали при 37 °С в течение 24 ч, после чего определяли ОП<sub>600</sub>. Измерения проводили на приборе Tecan infinite 200Pro.

Диско-диффузионный метод. Инокулят наносили на поверхности чашки Петри и равномерно распределяли по поверхности. Диски наносили с помощью стерильного пинцета. Чашки непосредственно после наложения дисков помещали в термостат и инкубировали 18–20 ч при 37 °С кверху дном. Измерение зон подавления роста на агаре без добавок проводили в отраженном свете, а также с точностью до миллиметра при помощи линейки.

*Определение МПК фуранонов для разных видов микроорганизмов.* Для выявления токсичности фуранонов были использованы разные виды микроорганизмов. Результаты МПК по новым производным фуранона представлены на рисунке 2. Наиболее устойчивым ко всем исследованным фуранонам оказались *Pseudomonas aerygenosa* и *Bacillus thuringiensis*.

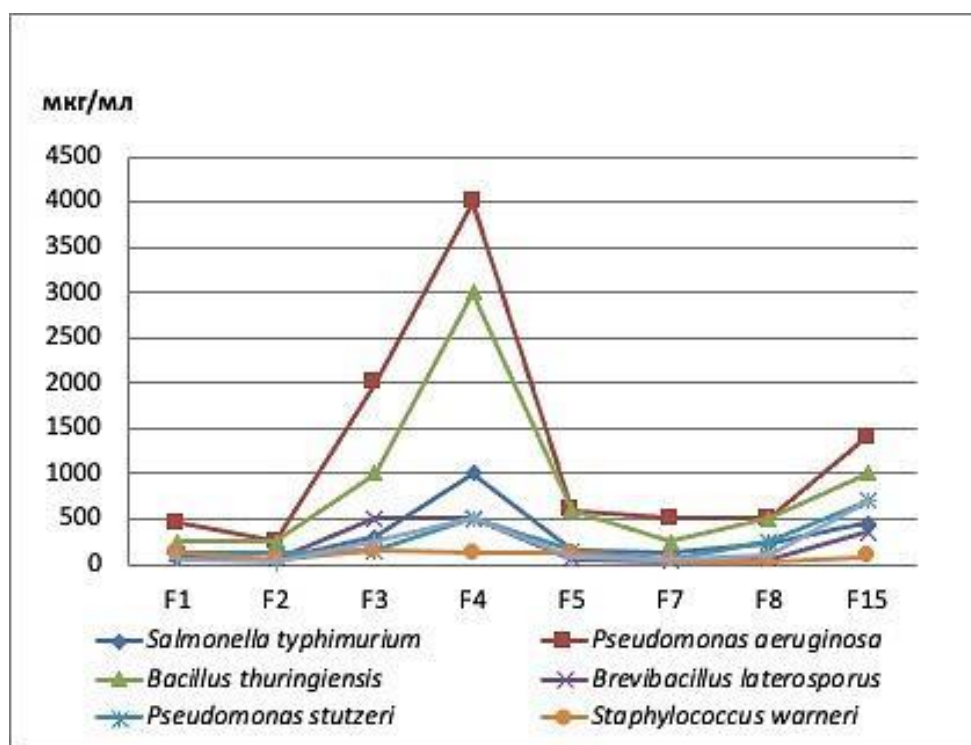


Рис. 2. МПК фуранонов для разных видов микроорганизмов.

Определение профиля антибиотикорезистентности для различных штаммов. Мы определили профили антибиотикоустойчивости для различных штаммов (табл.). Полученные результаты позволяют нам подобрать пары фуранонов и антибиотиков для установления типа взаимодействия.

Таблица

Профили антибиотикорезистентности исследуемых штаммов

Штамм	АМП	РИФ	ТЕТ	ЦИП	НБ	ЛЕВ	ЭРИ	КАН	АЗ	ОФ	СТР	НАЛ
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	S	R	S	S	R	S	R	R	S	S	S	S
<i>Bacillus thuringiensis</i>	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
<i>Brevibacillus laterosporus</i>	S	S	R	S	S	S	S	S	S	S	S	S
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	R	R	R	S	R	R	R	R	S	S	S	R
<i>Pseudomonas stutzeri</i>	S	S	S	S	R	R	R	S	S	S	S	S
<i>Salmonella typhimurium</i>	S	S	S	S	R	S	R	S	S	S	S	S
<i>Staphylococcus warneri</i>	S	S	S	S	S	S	R	S	S	S	S	S

Примечание. R – резистентность, S – чувствительность. Антибиотики: РИФ – рифампицин, ЛЕВ – левомицетин, АЗ – азитромицин, ЭРИ – эритромицин, ОФ – офлоксацин, ЦИП – ципрофлоксацин, НАЛ – налидиксовая кислота, НБ – новобиоцин, КАН – канамицин, СТР – стрептомицин, ТЕТ – тетрациклин, АМП – ампициллин.

#### Определение синергизма фуранонов с антибиотиками

В ходе эксперимента был обнаружен синергизм новых галогенпроизводных фуранонов с антибиотиками. На рисунке 3 представлен синергизм F2, F5 и F7 с рифампицином, F7 с канамицином для *Staphylococcus warneri*. Был установлен антаго-

низ галогенированных фуранонов с новобиоцином для *Brevibacillus laterosporus* (рис. 3). Данные типы взаимодействия мы наблюдали также для других штаммов. Мы предполагаем, что антибиотики, которые ингибируют синтез РНК или белка, не дают возможности бактериям запустить синтез белков, которые позволяют выработать устойчивость к фуранонам.

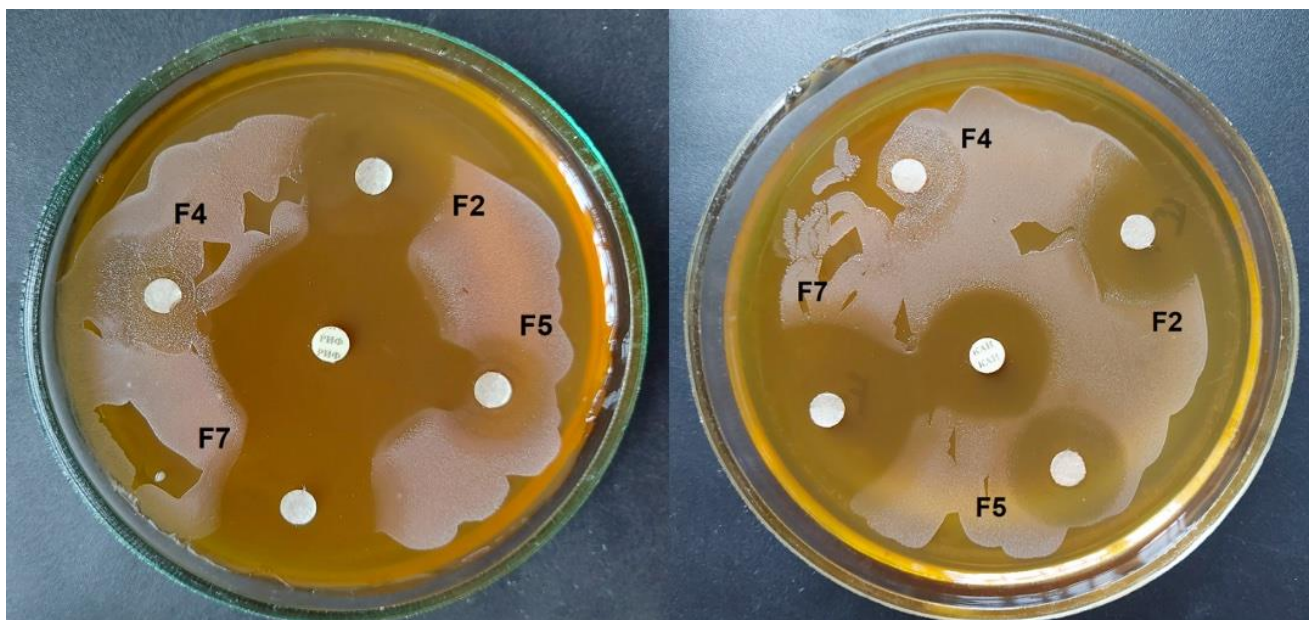


Рис. 3. Синергизм F2, F5 и F7 с рифампицином, F7 с канамицином для *Staphylococcus warneri*.

Таким образом, в результате проведенных исследований:

- 1) установлена минимальная подавляющая концентрация (МПК) различных типов галогенированных фуранонов для *Achromobacter xylooxidans*, *Brevibacillus laterosporus*, *Staphylococcus warneri*, *Bacillus thuringiensis*, *Pseudomonas stutzeri*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*. Наименее токсичным галогенпроизводным фураноном является F4, наиболее токсичным – F2. Наиболее устойчивыми ко всем исследованным фуранонам оказались *Pseudomonas aeruginosa* и *Bacillus thuringiensis*;
- 2) определен профиль антибиотикорезистентности для исследуемых штаммов;
- 3) установлен синергизм галогенированных фуранонов с рифампицином и канамицином, а также антагонизм – с новобиоцином.

#### ЛИТЕРАТУРА

Gómez A. C.; Lyons T.; Mamat U.; Yero D.; Bravo M.; Daura X.; Elshafee O.; Brunke S.; Gahan C. G. M.; O'Driscoll M. Synthesis and Evaluation of Novel Furanones as Biofilm Inhibitors in Opportunistic Human Pathogens // Eur. J. Med. Chem., 2022. V. 242. P. 114678. Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2022.114678>



*Hentzer M., Givskov M.* Pharmacological inhibition of quorum sensing for the treatment of chronic bacterial infections // *Journal of Clinical Investigation*, 2003. V. 112(9). P. 1300–1307.

*Proctor C., McCarron P. A., Ternan N. G.* Furanone quorum-sensing inhibitors with potential as novel therapeutics against *Pseudomonas aeruginosa* // *Journal of Medical Microbiology*, 2020. V. 69(2). P. 195–206.

*Sharma D., Misba L., Khan A. U.* Antibiotics versus biofilm: an emerging battleground in microbial communities // *Antimicrob Resist Infect Control*, 2019. V. 8. P. 76. DOI: 10.1186/s13756-019-0533-3

*Zang T., Lee B. W. K., Cannon L. M., Ritter K. A., Dai S., Ren D., Wood T. K., Zhou Z. S.* A naturally occurring brominated furanone covalently modifies and inactivates LuxS // *Bioorg. Med. Chem.*, 2009. V. 19. № 21. P. 6200–6204.

## СОЗДАНИЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ НОВЫХ ПЕСТИЦИДОВ С ПОМОЩЬЮ БАКУЛОВИРУСНОЙ ЭКСПРЕССИИ

**А. Г. Джапарова**

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,  
Санкт-Петербург, Пушкин.  
E-mail: [nastyadzh@mail.ru](mailto:nastyadzh@mail.ru)

Борьба с вредителями растений является неотъемлемой частью сельского хозяйства. По различным оценкам, вредители (к которым относятся беспозвоночные, одноклеточные патогены и сорняки) вызывают от 27% до 42% потерь производства основных сельскохозяйственных культур во всем мире, и без применения средств защиты растений эти цифры могут возрасти до 48–83% (Oerke, Dehne, 2004). На сегодняшний день основным методом борьбы с вредителями является применение химических пестицидов, что оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду и здоровье человека (Pimentel, 2005). Именно поэтому необходимо искать альтернативные источники получения безопасных пестицидов. Одной из таких методик является применение бакуловирусов – вирусных организмов, специфичным исключительно насекомым, в первую очередь, чешуекрылым (Lacey et al., 2015).

Применение бакуловирусов в защите растений условно можно разделить на три подхода. Первый заключается в непосредственном использовании различных штаммов вирусов для заражения ими вредителей и контроля их численности (Lacey et al., 2015). Данный подход ограничен кругом хозяев этих вирусов и не подходит для борьбы с видами насекомых, не входящих в этот круг. Другой подход заключается в применении бакуловирусов для экспрессии белковых молекул, которые потенциально могут быть использованы как пестициды.

Бакуловирусная система экспрессии – это биотехнологический метод, основанный на создании последовательности ДНК, которая встраивается в бакуловирус. Далее этим вирусом заражается клеточная культура насекомых, после чего инфицированные клетки начинают синтезировать рекомбинантный белок. С помощью такой системы выделяется большое количество сложных белковых соединений при минимальных затратах. С точки зрения защиты растений, бакуловирусная экспрессия имеет важное преимущество по сравнению, например, с экспрессией рекомбинантных белков в бактериях, так как значительная часть белковых молекул, потенциально используемых в качестве пестицидов, являются токсинами из ядов различных насекомых или других членистоногих. Таким образом, экспрессия токсинов с помощью этой системы именно в клетках насекомых может с большой вероятностью позволить получить активные, правильно сложившиеся на этапе фолдинга молекулы. Третий подход является сочетанием первых двух, в этом случае создаются штаммы бакуловирусов, со встроенными в их геном последовательностями, кодирующими белковые пестициды, которые начинают экспрессироваться уже непосредственно в организме зараженного насекомого, существенно увеличивая вирулентность бакуловируса (Lacey et al., 2015).

В качестве примера использования бакуловирусов в защите растений, применяемого в нашей лаборатории, можно привести экспрессию нейротоксина осы-наездника *Habrobracon hebetor*. Два таких токсина были выделены и охарактеризованы в 1999 году в соответствующем патенте, где было показано их инсектицидное действие и безопасность для млекопитающих (Johnson et al., 1999). В 2019 году срок защиты авторского права истек, и стало возможным использовать данные молекулы для их экспрессии в различных системах. При экспрессии этих молекул в клетках насекомых с помощью бакуловирусов будет возможность наработать активный продукт в больших количествах и изучить инсектицидную активность рекомбинантных молекул, сравнив ее с таковой при экстракции данных белков непосредственно из яда осы. В дальнейшем возможно применение полученных молекул или рекомбинантных штаммов бакуловирусов в качестве новых пестицидов.

Чтобы наработать большое количество рекомбинантных продуктов необходимо создать специальный транспортный вектор. Он содержит плазмиду, ограниченную с двух сторон последовательностями вирусного генома (Глик, Пастернак, 2002). Эта конструкция может быть получена коммерческим синтезом на основе вектора pFasVac TM Dual. Этап создания рекомбинантного бакуловируса включает в себя использование вспомогательных структур – бакмид. Они нарабатываются в *Escherichia coli* штамма DH10Vac. С помощью химической трансформации в бактериях происходит поглощение и встраивание векторов (Белжеларская, 2011).

Чтобы отобрать правильно встроенные варианты токсинов используется белоголубая селекция на антибиотиках канамицин, тетрациклин и гентамицин. Далее производится ПЦР-скрининг и получение бакмиды, путем щелочного лизиса наработанных положительных колоний.

Созданная бакмида используется для трансфекции культуры клеток насекомых. Для токсинов *H. hebetor* была выбрана клеточная линия Sf9, которая получена из ткани яичника мотылька *Spodoptera frugiperda*. Инфицированные клетки культивируются около 5 дней в течение 5 пассажей. Из полученного конечного лизата рекомбинантные токсины выделяются методом металлохелатной аффинной хроматографии. На примере токсинов *H. Hebetor* можно сделать вывод, что с помощью бакуловирусной экспрессии легко создавать различные варианты пестицидов, которые будут безопасны для окружающей среды и эффективны в использовании.

*Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 23-26-00039.*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Белжеларская С. Н.* Бакуловирусные системы экспрессии рекомбинантных белков в клетках насекомых и млекопитающих. // Молекулярная биология, 2011. Т. 45. С. 142–159.

*Глик Б., Пастернак Д.* Молекулярная биотехнология. Принципы и применение. М.: Мир, 2002. С. 143–150.

*Johnson J. H., Kral R. M., Krapcho K.* Insecticidal toxins from bracon hebetor nucleic acid encoding sad toxin and methods of use // United States Patent, Patent Number: 5,874,298. 1999. P. 1–5.

*Lacey L. A., Grzywacz D., Shapiro-Ilan D. I.* Insect pathogens as biological control agents: Back to the future // Journal of Invertebrate Pathology, 2015. V. 132. P. 1–41.

*Oerke E. C., Dehne H. W.* Safeguarding production – losses in major crops and the role of crop protection // Crop Protection., 2004. V. 23(4). P. 275–285.

*Pimentel D.* Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States // Environment, Development and Sustainability, 2005. V. 7. P. 229–252.

### **АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС ОРХИДЕИ *EPIRACTIS PALUSTRIS*, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ЗОЛЬНЫХ СУБСТРАТАХ**

**А. В. Елькина, Н. В. Чукина**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

E-mail: [elkina200@yandex.ru](mailto:elkina200@yandex.ru)

Активное антропогенное вмешательство в природу приводит к тому, что исчезают естественные ареалы растений, в том числе орхидных (сем. Orchidaceae). Однако в последнее время появляется все больше сведений о том, что орхидеи способны колонизировать техногенно нарушенные территории. На Среднем Урале орхидные обнаружены на землях добывающей (месторождения асбеста, золота, угля, же-

леза) и перерабатывающей (золоотвалы) промышленности (Филимонова и др., 2018).

Объект настоящего исследования – *Epipactis palustris* (L.) Crantz (дремлик болотный). Данный вид занесен в Красную книгу Свердловской области, где ему присвоена II категория – уязвимый вид. Дремлик болотный – длиннокорневищный травянистый многолетник, предпочитает светлые болота или сырые луга (Красная книга..., 2018).

В 2016 году в Свердловской области на золоотвале Нижнетуринской государственной районной электростанции (НТГРЭС) была обнаружена новая популяция *E. palustris*. Зола как субстрат обладает неблагоприятными для растений физико-химическими характеристиками: низкой влагоемкостью, щелочной реакцией среды, слабой теплопроводностью. Кроме того, данный субстрат имеет несбалансированный макро- и микроэлементный состав (Филимонова и др., 2018).

Цель данного исследования – сравнить содержание низкомолекулярных антиоксидантов, а также уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ) в листьях орхидеи *E. palustris* из естественного и антропогенно нарушенного местообитания для выявления адаптивных способностей данного вида орхидей.

Растительный материал (листья) отбирали в июле 2022 г. из естественного местообитания – заболоченный берег озера Багаряк (участок 1; N 56°22'38"; E 60°50'07"; Сысертский район, Свердловская обл.), и трансформированного – золоотвал НТГРЭС (участок 2; N 58°41'90"; E 60°00'14"; Нижнетуринский городской округ, Свердловская обл.) Содержание низкомолекулярных антиоксидантов, а также продуктов ПОЛ определяли спектрофотометрически по стандартным методикам (Борисова и др., 2012). Оценку достоверности различий проводили по критерию Манна-Уитни при уровне значимости  $p < 0.05$  в программе Statistica 13.0.

Известно, что под действием разнообразных стрессовых факторов в растительном организме генерируются активные формы кислорода (АФК), высокие концентрации которых способны вызывать ПОЛ. Антиоксидантная система, представленная ферментативными и неферментативными антиоксидантами, участвует в защите растения от окислительного повреждения макромолекул.

Выявлено, что у растений *E. palustris*, произрастающих на золоотвале, содержание продуктов ПОЛ достоверно не отличается от растений из естественного местообитания (табл.). Вероятно, это связано с активацией синтеза низкомолекулярных антиоксидантов, которые успешно сдерживают развитие окислительного стресса.

Пролин – аминокислота, выполняющая не только осмопротекторные, но и антиоксидантные функции. Защитная роль пролина обусловлена его способностью инактивировать АФК, связывать ионы тяжелых металлов, а также выполнять шаперонную и мембранопротекторную функцию. В листьях орхидей из участка 2 накапливалось в 2.3 раза больше пролина по сравнению с растениями из участка 1 (табл.). Это согласуется с литературными данными: во многих исследованиях показана

связь между накоплением пролина и устойчивостью растений к стрессовым факторам различной природы (Kolupaev et al., 2019).

Таблица

Содержание продуктов ПОЛ и низкомолекулярных антиоксидантов  
в листьях *Epipactis palustris*

Параметр	Участок 1	Участок 2
ТБКРП, нМ/г сухого веса	172.55±9.70 <sup>a</sup>	187.69±5.10 <sup>a</sup>
Пролин, мг/г сухого веса	274.65±11.69 <sup>a</sup>	638.27±12.21 <sup>b</sup>
Аскорбиновая кислота, мг/г сухого веса	5.15±0.32 <sup>a</sup>	7.14±0.42 <sup>b</sup>
Фенольные соединения, мг/г сухого веса	31.11±1.31 <sup>a</sup>	37.86±1.01 <sup>b</sup>
Флавоноиды, мг/ г сухого веса	11.93±0.74 <sup>a</sup>	13.99±0.75 <sup>a</sup>

Примечание. В таблице указаны средние арифметические значения и их стандартные ошибки, буквами обозначены достоверные различия между изученными участками. ТБКРП – продукты ПОЛ, реагирующие с тиобарбитуровой кислотой.

Еще один важный и распространенный антиоксидант растений, принимающий участие в обезвреживании АФК, – это аскорбиновая кислота. Она способна взаимодействовать со свободными радикалами, синглетным кислородом и пероксидом водорода, окисляясь при этом до стабильных соединений, а также восстанавливать другие низкомолекулярные антиоксиданты. Растения *E. palustris* из трансформированного местообитания накапливали в листьях на 38% больше аскорбиновой кислоты, чем растения из естественного местообитания (табл.).

Фенольные соединения растений также участвуют в антиоксидантных реакциях при окислительном стрессе: за счет своих гидроксильных групп они нейтрализуют АФК в клетках (Kolupaev et al., 2019). По результатам исследования было установлено, что орхидеи, произрастающие на золоотвале, характеризовались повышенным содержанием фенольных соединений (на 19%) по сравнению с контрольными растениями (табл.). При этом по содержанию флавоноидов достоверных различий между популяциями обнаружено не было, а их доля от общего количества фенольных соединений почти не изменялась (37.5% в среднем).

Таким образом, можно заключить, что *Epipactis palustris* обладает высоким адаптивным потенциалом. Активация синтеза низкомолекулярных антиоксидантов, таких как пролин, аскорбиновая кислота, а также фенолы, смягчает последствия окислительного стресса и способствует натурализации данного вида орхидей в неблагоприятных условиях золоотвала.

#### ЛИТЕРАТУРА

Борисова Г. Г., Малева М. Г., Некрасова Г. Ф., Чукина Н. В. Методы оценки антиоксидантного статуса растений: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. 72 с.

Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы / отв. ред. Н. С. Коротин. Екатеринбург: ООО «Мир», 2018. 450 с.

Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Лукина Н. В., Борисова Г. Г., Чукина Н. В., Малева М. Г., Грошева С. Н. *Epipactis palustris* (L.) Crantz на золоотвале Нижнетуринской ГРЭС и в естественном местообитании // Ученые записки Петрозаводского государственного университета, 2018. № 3(172). С. 58–66.

Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Глазырина М. А. Орхидные на нарушенных промышленностью землях Урала // Экология и география растений и растительных сообществ. Екатеринбург, 2018. С. 986–991.

Kolupaev Y. E., Karpets Y. V., Kabashnikova L. F. Antioxidative system of plants: cellular compartmentalization, protective and signaling functions, mechanisms of regulation // Applied Biochemistry and Microbiology, 2019. V. 55. P. 441–459.

## ПРОТЕКТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ МЕТИЛЖАСМОНАТА И САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ НА ПРОРОСТКИ ОГУРЦА ПРИ ГИПОТЕРМИИ

**А. А. Игнатенко, В. В. Таланова, Н. С. Репкина, А. Ф. Титов**

Институт биологии Федерального исследовательского центра

«Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск

E-mail: [angelina911@ya.ru](mailto:angelina911@ya.ru)

Фитогормоны являются органическими, низкомолекулярными веществами, которым принадлежит важная роль не только в контроле онтогенеза, но и в регуляции ответных реакциях растений на разные внешние воздействия, включая низкие температуры (Титов, Таланова, 2009; Чумикина и др., 2021). В последние годы значительный интерес исследователи проявляют к салициловой кислоте (СК) и жасмонатам, сочетающим в себе свойства сигнальных молекул и фитогормонов. Внимание к этим соединениям, прежде всего, обусловлено их участием в защитных реакциях растений в ответ на атаку патогенов и вредителей (Колупаев, Карпец, 2010). Также активно исследуется участие салициловой и жасмоновой кислот и их производных в формировании устойчивости к абиотическим факторам среды. Хотя роль этих гормонов в устойчивости растений к низким температурам пока остается не до конца изученной. В связи с этим нами было проведено исследование влияния экзогенных СК и метилжасмоната (МЖ) на реакцию растений огурца на действие пониженной температуры.

Объектом исследования служили растения огурца (*Cucumis sativus* L., гибрид F1 Зозуля). Растения выращивали в течение 7 сут на модифицированном питательном растворе Кнопа в климатической камере при постоянных условиях среды: температуре воздуха +22 °С, его относительной влажности 60–70%, 14/10 ч фотопериоде и освещенности 180 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с). Низкотемпературное воздействие проводили в течение 3 сут при температуре +12 °С. При этом часть растений за сутки до начала закаливания помещали на растворы СК (100 мкМ, вариант СК) или МЖ (1 мкМ, ва-

риант МЖ) и дальнейшее выращивание продолжали на них. В качестве контрольного варианта использовали растения, которые не подвергались обработке СК и МЖ. Проницаемость мембран клеток огурца определяли с использованием кондуктометра. Измерение ростовых показателей проводили общепринятыми методами. Содержание малонового диальдегида (МДА) и пролина, активность антиоксидантных ферментов определяли спектрофотометрически. Содержание транскриптов генов *Cu/ZnSOD*, *MnSOD* и *CAT* анализировали методом ПЦР в режиме реального времени.

В ходе исследований установлено, что обработка СК и МЖ оказывала защитный эффект на растения огурца, подвергнутые действию температуры +12 °С. Об этом свидетельствовало уменьшение проницаемости мембран (табл.) и снижение содержания продукта перекисного окисления липидов – МДА в листьях растений в вариантах СК и МЖ по сравнению с контрольным вариантом. Вместе с тем, СК и МЖ в этих условиях способствовали поддержанию ростовых процессов растений.

Таблица

**Влияние СК и МЖ на выход электролитов (% от полного выхода) из листьев растений огурца, подвергнутых в течение 3 сут действию температуры +12 °С**

Вариант	Экспозиция, ч			
	0	1	24	72
Контроль	15.12±0.41 <sup>c</sup>	16.54±0.49 <sup>b</sup>	18.37±0.67 <sup>a</sup>	13.93±0.44 <sup>cef</sup>
Салициловая кислота (СК)	14.11±0.27 <sup>de</sup>	14.84±0.71 <sup>cd</sup>	15.30±0.70 <sup>bc</sup>	12.27±0.51 <sup>g</sup>
Метилжасмонат (МЖ)	13.72±0.33 <sup>ef</sup>	13.11±0.20 <sup>f</sup>	12.21±0.33 <sup>g</sup>	10.62±0.38 <sup>h</sup>

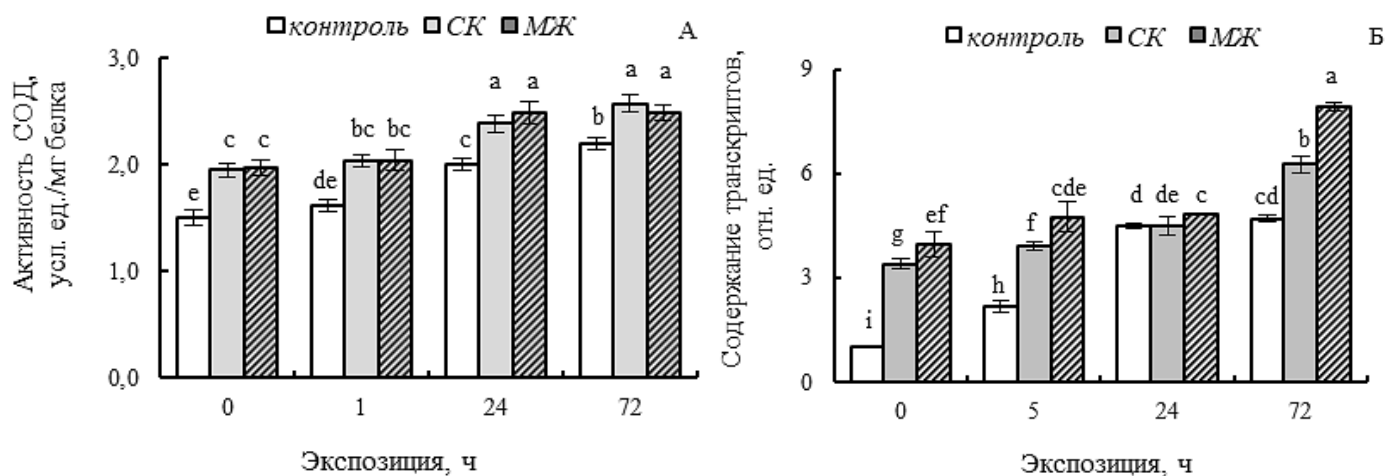
Примечание. Разными латинскими буквами отмечены статистически значимые отличия между средними величинами при  $p < 0.05$ .

Одной из причин снижения уровня МДА в листьях растений, обработанных СК и МЖ, могла стать активизация под их влиянием работы антиоксидантной системы. Так, обработка проростков СК и МЖ еще до начала действия температуры +12 °С (при +22 °С) приводила к повышению (на 30% относительно исходного уровня) активности в листьях огурца одного из ключевых антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы (СОД) (рис. А).

При последующем действии температуры +12 °С активность СОД у растений в вариантах СК и МЖ также превышала таковую в контрольном варианте в течение всего опыта. Наряду с этим, под влиянием обработки растений СК и МЖ отмечено усиление экспрессии генов, кодирующих изоформы СОД – *Cu/ZnSOD* (рис. Б) и *MnSOD*.

Анализ активности ферментов, участвующих в нейтрализации пероксида водорода – каталазы (КАТ) и гваякол-специфичной пероксидазы (ГВПО) показал, что с увеличением продолжительности низкотемпературного воздействия она повышается. Обработка растений как СК, так и МЖ, вызывала увеличение активности КАТ и

ГВПО в течение всего опыта с той лишь разницей, что более выраженное действие на активность ГВПО оказывала обработка СК.



Влияние салициловой кислоты (СК) и метилжасмоната (МЖ) на общую активность СОД (А) и содержание транскриптов гена *Cu/ZnSOD* (Б) в листьях растений огурца, подвергнутых в течение 3 сут действию температуры +12 °С.

Помимо высокомолекулярных компонентов антиоксидантной системы важную роль в защите растений от неблагоприятного действия низких температур играют низкомолекулярные протекторные соединения, в частности, свободный пролин (Lehmann et al., 2010). В наших опытах его уровень в листьях растений в варианте СК был выше, чем в контроле в течение всего периода охлаждения. Обработка проростков МЖ также вызывала увеличение содержания пролина в их листьях, но в меньшей степени, чем СК.

Таким образом, на основании проведенного исследования можно заключить, что обработка растений огурца СК и МЖ повышает их устойчивость к действию пониженной температуры. Кроме того, из полученных данных следует, что в основе их протекторного действия лежит способность этих фитогормонов активизировать работу компонентов антиоксидантной системы, что, в свою очередь, обеспечивает уменьшение интенсивности окислительного стресса, который может быть вызван у теплолюбивых растений даже незначительным понижением температуры.

*Финансовое обеспечение исследования осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (№ FMEN-2022-0004).*

#### ЛИТЕРАТУРА

Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. Киев: Основа, 2010. 352 с.

Титов А. Ф., Таланова В. В. Устойчивость растений и фитогормоны. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 206 с.



Чумикина Л. В., Арабова Л. И., Колпакова В. В., Топунов А. Ф. Фитогормоны и абиотические стрессы (обзор) // Химия растительного сырья, 2021. № 4. С. 5–30.

Lehmann S., Funck D., Szabados L., Rentsch D. Proline metabolism and transport in plant development // Amino Acids, 2010. V. 39. P. 949–962.

## РЕАКЦИЯ КЛЕВЕРА БЕЛОГО И ЧИСТОТЕЛА БОЛЬШОГО НА ХРОНИЧЕСКОЕ РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ: ПРОТЕОМНЫЙ АНАЛИЗ

Е. А. Казакова\*, С. В. Битаршвили\*, П. Ю. Волкова\*\*

\* Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,  
Обнинск

E-mail: [elisabethafeb19@gmail.com](mailto:elisabethafeb19@gmail.com)

\*\*Независимый исследователь

E-mail: [volkova.obninsk@gmail.com](mailto:volkova.obninsk@gmail.com)

Одной из задач исследования по анализу адаптивных реакций травянистых растений на хроническое радиационное воздействие для поиска кандидатных молекул устойчивости к абиотическим стрессорам было проведение протеомного анализа листьев клевера белого (*Trifolium repens* L.) и чистотела большого (*Chelidonium majus* L.) из зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Использование омикс-подходов для выявления кандидатных молекул устойчивости у дикорастущих растений, испытывающих хронические стрессовые воздействия, вносит вклад в решение глобальных экологических проблем, связанных с климатическими изменениями и антропогенным загрязнением, а также в повышение урожайности сельскохозяйственных растений и обеспечение продовольственной безопасности (Mosa et al., 2017; Vanerjee et al., 2019). В настоящее время протеомика превратилась из изолированной области во всеобъемлющий инструмент биологических исследований, который можно использовать для объяснения механизмов устойчивости растений (Liu et al., 2019).

В июне 2021 года в зоне отчуждения ЧАЭС в Полесском радиационно-экологическом заповеднике Республики Беларусь были заложены два радиоактивно загрязнённых участка Кулажин и Масаны и два контрольных Бабчин и Ломыш. Для всех участков была оценена радиационная обстановка (мощность амбиентной дозы, плотность потока  $\beta$ - и  $\alpha$ -частиц, удельные активности радионуклидов в почве). Для протеомного анализа на каждом участке отбирали листья клевера белого и чистотела большого и немедленно замораживали в жидком азоте. В каждом образце содержались листья с 5–10 растений. Всего для анализа отобрано 14 образцов клевера ползучего и 14 образцов чистотела большого (по 3 с каждого контрольного участка и по 4 с каждого загрязнённого участка).

Для экстракции белков 100 мг растительной ткани растирали в ступке с жидким азотом и растворяли в экстрагирующем буфере, далее центрифугировали и собирали супернатант. Затем осадок ресуспендировали в лизирующем буфере, после нагревания и обработки ультразвуком образцы снова центрифугировали. Два получившихся супернатанта смешивали. Для осаждения белков из раствора использовали предварительно охлаждённую до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  10% трихлоруксусную кислоту, растворённую в ацетоне. Образцы инкубировали в течение ночи при  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и центрифугировали. Белковый осадок дважды промывали холодным ацетоном и сушили на воздухе. Далее лиофилизированные белки растворяли, измеряли количество методом ВСА и выполняли триптический гидролиз белков в растворе. По завершению пробоподготовки осуществляли хромато-масс-спектрометрический анализ с использованием хроматографической ВЭЖХ системы Ultimate 3000 RSLCnano, соединённой с масс-спектрометром Q-Exactive HF на базе Сколковского института науки и технологий. Каждую пробу анализировали в трёх повторях.

В результате биоинформатического анализа в MaxQuant v.1.6.17.0 с использованием поискового алгоритма Andromeda и базы данных UniProt были получены данные о присутствии 152 белков в пробах клевера ползучего и 80 белков в пробах чистотела большого. После дополнительной фильтрации для выделения белков, которые не являются контаминантами и регистрировались минимум в двух из трёх технических повторях, был получен список из 121 белка клевера ползучего и 42 белков чистотела большого.

Оценку изменения содержания белков в образцах с радиоактивно загрязнённых участков по сравнению с контрольной группой проводили, используя парный *t*-критерий Стьюдента и кратность изменения содержания белка в пробе по сравнению с контролем (FC). Принятый уровень значимости для результатов анализа по *t*-критерию составил 0.05, для функционального анализа использовали данные, в которых модуль FC превышал 2.

Проведённая оценка показала, что значимые различия между образцами клевера ползучего с загрязнённых участков по сравнению с контролями наблюдаются для 10 белков ( $p\text{-value} < 0.05$ ,  $|FC| \geq 2$ ). Клевер ползучий, произрастающий в условиях хронического радиационного воздействия, характеризуется снижением содержания по сравнению с контрольными условиями следующих белков: четырёх оксиредуктаз, рибосомального белка L16, гистона H1, трёх дегидринов – молекулярных маркёров устойчивости растений к стрессу и глутатион редуктазы.

Статистически значимые различия между группами облучённых образцов и контрольными образцами чистотела большого обнаружены для 5-ти белков ( $p\text{-value} < 0.05$ ,  $|FC| \geq 2$ ). В облучённых группах снижается по сравнению с контрольной группой содержание синопин синтазы, участвующей в биосинтезе алкалоидов, трёх белков, задействованных в процессе фотосинтеза, и рибосомального белка хлоропласта.

Для проверки возможности кластеризации данных (без предварительного знания о природе образцов) по идентифицированным белкам клевера ползучего и чистотела большого из контрольной группы и растений после радиационного воздействия использовали метод РСА. Образцы с участков Масаны и Кулажин после облучения не выделились явным образом в отдельную от контрольных образцов с участков Бабчин и Ломыш группу.

В настоящее время проводится дальнейший детальный анализ полученных данных.

Таким образом, в результате протеомного анализа клевера ползучего и чистотела большого выявлен ряд белков, вероятно, реагирующих на хроническое радиационное воздействие. Снижение содержания данных белков в листьях растений с радиационно-загрязнённых участков может свидетельствовать о перераспределении пластических ресурсов растений в условиях хронического радиационного воздействия.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-74-10004).*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Banerjee R., Kumar G. V., Kumar J. S. P.* OMICS–Based Approaches in Plant Biotechnology. Scrivener Publishing LLC, 2019. 327 p. DOI:10.1002/9781119509967.

*Liu Y., Lu S., Liu K., Wang S., Huang L., Guo L.* Proteomics: a powerful tool to study plant responses to biotic stress // *Plant Methods*, 2019. V. 15. № 135. P. 1–20. DOI: 10.1186/s13007-019-0515-8.

*Mosa K. A., Ismail A., Helmy M.* Plant stress tolerance: an integrated omics approach. Springer Nature, 2017. 71 p.

## **СОДЕРЖАНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ В ХВОЕ ПОСАДОК *PINUS SYLVESTRIS* L. НА ОТВАЛЕ ПОСЛЕ ЗОЛОТОДОБЫЧИ**

**В. Н. Климова, Н. В. Чукина, Н. В. Лукина**

Уральский федеральный университет имени первого президента России

Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

E-mail: [avomilkakiv@yandex.ru](mailto:avomilkakiv@yandex.ru)

В настоящее время из-за усиления антропогенного воздействия на биосферу увеличиваются площади техногенных земель. Зачастую такие территории характеризуются неблагоприятными для естественного возобновления растительности условиями, а также представляют опасность для окружающей среды и здоровья че-

ловека, выступая источниками загрязнения. Вместе с тем существует возможность снизить их негативное влияние путем проведения рекультивационных мероприятий (Чибрик, 2002).

Одним из наиболее удачных объектов, применяемых при рекультивации техногенных территорий, является *Pinus sylvestris* L., или сосна обыкновенная. Благодаря своей нетребовательности к плодородию и водообеспеченности почв, она способна успешно приспосабливаться к произрастанию на неблагоприятных для других видов субстратах, в том числе техногенно нарушенных (Мамаев, 1983). Однако произрастание в таких условиях не проходит бесследно, нарушая нормальное протекание процессов жизнедеятельности растительного организма. Для обеспечения нормального функционирования в условиях стресса растения выработали различные физиолого-биохимические приспособления, одним из которых можно считать накопление в клетках специфических низкомолекулярных соединений, функционирующих как антиоксиданты. Содержание данных соединений может служить одним из информативных показателей, позволяющих оценить состояние растений на нарушенных территориях, что, в свою очередь, важно для повышения эффективности лесовосстановительных работ.

Цель настоящего исследования – сравнительная оценка содержания низкомолекулярных антиоксидантов в хвое растений *Pinus sylvestris* L., произрастающих на отвале после золотодобычи и в естественном лесном фитоценозе.

Исследования проводились в июле 2022 года на дражном отвале месторождения россыпного золота Увальное (г. Невьянск, Свердловская область; 57°31'31" с.ш.; 60°16'01" в.д.), на территории которого в 2003 г. были сделаны рядовые посадки 2-летних сеянцев *P. sylvestris*. Посадки проведены без использования мелиорантов. По результатам визуального зонирования на территории отвала были выделены и обследованы 5 опытных площадок: 4 на отвале (ОП1–ОП4), одна на дамбе (ОП5). Площадки различались по качеству и физико-химическим свойствам субстратов, и, как следствие, по состоянию и развитию высаженных культур. В качестве контрольной площадки (КП) был выбран участок естественного лесного фитоценоза вблизи поселка Белоречка (городской округ г. Верхний Тагил; 57°21'56" с.ш.; 59°59'52" в.д.) (Лукина и др., 2022).

В растениях сосны обыкновенной с исследуемых площадок оценивалось содержание низкомолекулярных антиоксидантов: пролина, аскорбиновой кислоты, флавоноидов, а также общее количество фенольных соединений. Для проведения анализа с южной части кроны сосны отбирали образцы хвои 2-ого года (не менее чем с 10 растений). Содержание в хвое антиоксидантов определяли по стандартным методикам (Борисова и др., 2012). Анализ данных проводили в программе Excel и STATISTICA 13 с применением U-критерия Манна-Уитни при уровне значимости  $p < 0.05$ .

Фенольные соединения вносят существенный вклад в формирование устойчивости растений к стрессовым факторам среды. Биохимический анализ хвои сосен с

исследованных площадок показал, что общее содержание фенольных соединений у *P. sylvestris* с отвала было в среднем в 1.3 раза выше по сравнению с контрольными (табл.). Сходные результаты по содержанию фенолов в растениях сосны в условиях техногенного стресса были получены и другими авторами (Шавнин и др., 2014).

Установлено, что в образцах растений сосны с отвала (за исключением ОП5) содержание флавоноидов также было выше. Аналогичная ситуация наблюдалась и в отношении аскорбата: его содержание в хвое большинства опытных образцов с нарушенных участков было выше (в 1.3 раза), чем в контрольных, а у образцов с ОП5 не отличалось от контроля. Вероятно, условия произрастания на участке дамбы, где уровень гигровлаги и содержание органического углерода и кальция в субстрате были существенно выше по сравнению с участками отвала, более благоприятны для растений сосны. Данный факт подтверждают результаты оценки состояния посадок сосны из исследованных пробных площадок, опубликованные ранее (Лукина и др., 2022).

Таблица

Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в хвое *P. sylvestris* на отвалах после золотодобычи и в контрольном местообитании

Площадки	Пролин	Фенолы	Флавоноиды	Аскорбат
	мг/г сухого веса			
ОП 1	96.06 ± 2.86 <sup>a</sup>	13.81 ± 0.20 <sup>b</sup>	2.45 ± 0.07 <sup>ab</sup>	6.65 ± 0.26 <sup>cd</sup>
ОП 2	128.66 ± 4.24 <sup>bc</sup>	18.11 ± 0.12 <sup>e</sup>	3.55 ± 0.16 <sup>d</sup>	7.07 ± 0.16 <sup>d</sup>
ОП 3	133.52 ± 4.26 <sup>c</sup>	14.74 ± 0.42 <sup>bc</sup>	2.94 ± 0.12 <sup>c</sup>	6.05 ± 0.10 <sup>c</sup>
ОП 4	112.85 ± 5.32 <sup>b</sup>	16.62 ± 0.23 <sup>d</sup>	2.74 ± 0.12 <sup>bc</sup>	3.89 ± 0.19 <sup>a</sup>
ОП 5	108.91 ± 15.01 <sup>ab</sup>	15.53 ± 0.45 <sup>cd</sup>	2.16 ± 0.11 <sup>a</sup>	4.36 ± 0.20 <sup>ab</sup>
КП	144.31 ± 2.64 <sup>d</sup>	12.45 ± 0.23 <sup>a</sup>	2.26 ± 0.08 <sup>a</sup>	5.00 ± 0.09 <sup>b</sup>

Примечание. В таблице приведены средние арифметические значения и их стандартные ошибки. Разные буквы указывают на достоверные различия изученных параметров между исследованными площадками при уровне значимости  $p < 0.05$ .

Иминокислота пролин также участвует в защите клеток и тканей растений от окислительного стресса. Однако, согласно нашим данным, содержание пролина у растений *P. sylvestris* с опытных площадок было в среднем в 1.2 раза ниже, чем у контрольных. Вероятно, это может быть связано с нарушением синтеза или усилением процессов деградации данного соединения в условиях техногенного стресса.

Таким образом, полученные нами результаты показали, что система антиоксидантной защиты сосны обыкновенной, включающая растворимые фенольные соединения, в частности, флавоноиды, а также аскорбиновую кислоту, функционирует в условиях техногенной среды достаточно эффективно. Накопление низкомолекулярных антиоксидантов в хвое способствует повышению устойчивости сосновых насаждений в неблагоприятных условиях произрастания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ FEUZ-2023-0019.

#### ЛИТЕРАТУРА

Борисова Г. Г., Малева М. Г., Некрасова Г. Ф., Чукина Н. В. Методы оценки антиоксидантного статуса растений: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. 72 с.

Лукина Н. В., Чукина Н. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Учаев А. П., Борисова Г. Г. Морфофизиологические особенности *Pinus sylvestris* L. в искусственных насаждениях на дражном отвале после золотодобычи // Лесохозяйственная информация, 2022. № 3. С. 145–157.

Мамаев С. А. Виды хвойных на Урале и их использование в озеленении. Свердловск: Уральский Научный Центр АН СССР, 1983. 109 с.

Чибрик Т. С. Основы биологической рекультивации: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2002. 172 с.

Шавнин С. А., Колтунов Е. В., Яковлева М. И. Влияние урбанизации на состав и содержание фенольных соединений в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 1451. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17151>

## **BACTERIAL BIOFERTILIZER FOR BIOFORTIFICATION AND ENHANCING BIOMASS PRODUCTION OF *BRASSICA NAPUS* L.**

**A. Kumar, Tripti, G. G. Borisova, M. G. Maleva, A. A. Salata**

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,  
Ekaterinburg

E-mail: [adarsh.biorem@gmail.com](mailto:adarsh.biorem@gmail.com)

The problem of micronutrient deficiency remains a relevant issue all over the world. Biofortification of food crops is an effective and efficient strategy to alleviate the problem of nutrient deficiencies due to its ability to increase the specific nutrient content in the edible parts of the plants (White, Broadley 2009). Of particular interest is microbiological biofortification, which involves the use of bacteria to increase the biological value of raw materials and food products. One of the most important essential trace elements for the normal functioning of the living systems, including the human body is copper (Cu). It is part of some enzymes and takes part in many processes such as formation of red blood cells and hemoglobin, functioning of the cardiovascular system, etc. In plants, it is essential for many physiological processes like photosynthesis, respiration, carbon and nitrogen metabolism, and protection against oxidative stress (Kumar et al., 2021a). The aim of this

study was to assess the effect of bacterial biofertilizer (BF) based on Cu-tolerant plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and biochar on copper biofortification and bi-productivity of *Brassica napus* L. (rapeseed).

The rhizosphere soil was collected from *Trifolium repens* L. growing on Cu smelter contaminated site of Karabash (Chelyabinsk oblast, Russia), and Cu-tolerant strains of rhizobacteria have been isolated. Previously identified *Stenotrophomonas rhizophila* TR15e strain (based on morphology and 16S rRNA gene sequencing, accession number MW682307) which solubilized phosphates, produced indole-3-acetic acid and ammonia, and activity of ACC deaminase was used for preparation of BF (Kumar et al. 2021b). For preparation of BF, the liquid bacterial culture of TR15e ( $\sim 10^8$  cfu mL<sup>-1</sup>) was added to sterilized wood biochar (BC) and left in laminar overflow until the moisture level reached 25–35%.

To assess the effect of bacterial BF on the biofortification of *B. napus* with copper, a pot scale experiment was carried out and growth parameters and photosynthetic characteristics were determined. The experiment included three treatments: control soil; soil with the addition of 5% BC; soil with the addition of 5% BF based on BC and *S. rhizophila* TR15e. The rapeseed were grown in 0.3 mL plastic pots (15 seeds in each pot, each treatment in five replicates) for 36 days in the plant growth chamber under 14:10 (day:night) photoperiod, illumination  $150 \pm 20 \mu\text{M m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  provided by phytolamps (ULI-P10-18W/SPFR IP40) at  $23 \pm 2$  °C.

The study of copper accumulation and morphophysiological characteristics of rapeseed was carried out at the end of the growing season. The Cu content in *B. napus* organs was determined by the atomic absorption spectrometer AA240FS (Varian Australia Pty Ltd., Australia). The length and fresh biomass of shoot and root were recorded. For leaf area determination, each leaf was photographed, and digital image analysis was performed using special MesoPlant software (OOO SIAMS, Russia). Extraction of photosynthetic pigments was carried out in 80% acetone. The optical density of extracts was measured spectrophotometrically using multimode plate reader Infinite M 200 PRO (Tecan, Austria) at 470, 647, and 663 nm and the content of pigments was calculated according to Lichtenthaler (1987) and expressed in mg per g of dry weight (DW). The rate of CO<sub>2</sub> assimilation ( $\mu\text{M CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) was measured on a portable infrared gas analyzer LI-6400XT (LI-COR, USA). The measurements were carried out under the following conditions: saturating light intensity –  $1600 \mu\text{M m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , chamber temperature – 23 °C at 50% humidity.

The Cu content in the control soil was  $25.9 \pm 3.5 \text{ mg kg}^{-1}$  which decreased to  $20.5 \pm 1.0 \text{ mg kg}^{-1}$  after the addition of 5% BC. Application of BC alone did not significantly affect the Cu content in the shoot of *B. napus* however increased its accumulation in the root by 20%. In case of BF, the accumulation of Cu in shoot increased significantly as compared to other treatments by 1.3, and in roots by 2.4 times (table).

The introduction of BC did not significantly affect the fresh biomass of shoot and root, while when it was used together with PGPR, the shoot fresh biomass increased by 1.3

times. The addition of BF reduced the length of the shoot by 1.4 times, while no significant differences between the treatments were found in the length of the root. With the addition of separate BC and BF, rapeseed showed a tendency to increase the area of the leaf blade (table). High PGP-activity of the *Stenotrophomonas* genus bacteria was shown earlier by other authors (Egamberdieva et al., 2016).

Addition of BF increased the total content of chlorophylls by 1.8 times compared to the control, while a slight increase was observed when BC was applied alone. At the same time, there were no significant differences between the treatments in the content of carotenoids. In the presence of biofertilizer, the CO<sub>2</sub> uptake rate by rapeseed increased by 18%.

Table

Copper content and morphophysiological characteristics in *B. napus*

Parameter		Treatment		
		CS	5% BC	5% BF
Content of Cu, mg g <sup>-1</sup> DW	Shoot	7.38±0.27 <sup>a</sup>	7.02±0.53 <sup>a</sup>	9.69±0.28 <sup>b</sup>
	Root	8.37±0.17 <sup>a</sup>	10.13±0.34 <sup>b</sup>	21.88±0.44 <sup>d</sup>
Fresh biomass, mg	Shoot	1316.48±45.01 <sup>a</sup>	1239.95±51.48 <sup>a</sup>	1632.75±81.95 <sup>b</sup>
	Root	27.58±0.63 <sup>a</sup>	28.78±0.22 <sup>a</sup>	28.20±1.38 <sup>a</sup>
Length, cm	Shoot	23.58±0.56 <sup>a</sup>	23.71±0.75 <sup>a</sup>	16.94±1.10 <sup>b</sup>
	Root	7.63±0.53 <sup>a</sup>	7.25±0.63 <sup>a</sup>	8.56±0.64 <sup>a</sup>
Area of the leaf blade, cm <sup>2</sup>		13.24±0.64 <sup>a</sup>	14.14±0.90 <sup>a</sup>	15.10±1.04 <sup>a</sup>
Content of chlorophylls ( <i>a+b</i> ), mg g <sup>-1</sup> DW		3.30±0.23 <sup>a</sup>	3.72±0.10 <sup>ab</sup>	5.91±0.32 <sup>b</sup>
Content of carotenoids, mg g <sup>-1</sup> DW		0.70±0.04 <sup>a</sup>	0.65±0.09 <sup>a</sup>	0.73±0.05 <sup>a</sup>
CO <sub>2</sub> uptake rate, μM m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>		11.08±0.15 <sup>a</sup>	11.06±0.14 <sup>a</sup>	13.09±0.13 <sup>b</sup>

Note. CS – control soil; BC – biochar; BF – bacterial biofertilizer based on BC and *S. rhizophila* strain TR15e. The table shows the mean values and their standard errors. Different letters indicate significant differences between the treatments at  $p < 0.05$ .

The results elucidated that application of bacterial biofertilizer based on Cu-tolerant plant growth promoting rhizobacteria (*Stenotrophomonas rhizophila* strain TR15e) and biochar not only improved the growth and photosynthetic parameters of *Brassica napus* but also contributed to the biofortification of plants with copper which belongs to the most important essential trace elements.

*The work was supported by Russian Science Foundation, Project No. 23-26-00292, <https://rscf.ru/project/23-26-00292>.*

## REFERENCES

Egamberdieva D., Jabborova D., Berg G. Synergistic interactions between *Bradyrhizobium japonicum* and the endophyte *Stenotrophomonas rhizophila* and their effects on growth, and nodulation of soybean under salt stress // Plant Soil, 2016. V. 405. P. 35–45.



*Kumar V., Pandita S., Sidhuet G. P. S., Sharma A., Khanna K., Kaur P., Bali A. S., Setia R.* Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review // *Chemosphere*, 2021a. V. 262. P. 127810. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.127810

*Kumar A., Tripti, Maleva M., Bruno L. B., Rajkumar M.* Synergistic effect of high ACC deaminase producing *Pseudomonas sp.*TR15a and siderophore producing *Bacillus aerophilus* TR15c for enhanced growth and copper accumulation in *Helianthus annuus* L. // *Chemosphere*, 2021b. V. 276. P. 130038. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.130038

*Lichtenthaler H. K.* Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes // *Method. Enzymol.*, 1987. V. 148. P. 350-382.

*White P. J., Broadley M. R.* Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in humane diets: iron, zinc copper, calcium, magnesium, selenium and iodine // *New Phytol.*, 2009. V. 182. P. 49–84.

## **ФЕРМЕНТАТИВНАЯ КОНВЕРСИЯ КСИЛАНА И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ БИОКАТАЛИЗАТОРОВ**

**К. А. Майорова\***, **А. Р. Шевченко\***, **А. С. Аксенов\***,  
**М. А. Родичева\***, **В. Д. Телицин\*\***

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

\*\*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва  
E-mail: [majorova.k@edu.narfu.ru](mailto:majorova.k@edu.narfu.ru)

В условиях нарастающей важности экологически чистого производства продуктов потребления и энергии всё более актуальным становится использование источников возобновляемого неуглеводородного сырья, к которым относится биомасса растений. Прогрессивной технологией комплексной переработки растительных целлюлозных материалов является ферментативная конверсия, позволяющая с минимальным вредом окружающей среде получать сахара, преимущественно гексозы и пентозы, выступающие в качестве сырья для последующей биохимической переработки в органические кислоты, биоэтанол и др. экономически важные продукты. (Rozhkova, 2022). В большинстве регионов РФ наиболее распространенным источником растительного сырья являются материалы древесного происхождения, переработку которых производят преимущественно на целлюлозно-бумажных предприятиях. На выходе получают волокнистый полуфабрикат, примером которого является беленая сульфатная листовая целлюлоза, обладающая высокой реакционной способностью к ферментативной конверсии (Shevchenko, 2023). В составе промыш-

ленных полуфабрикатов преобладает целлюлоза – линейный полисахарид, состоящий из звеньев остатков D-глюкозы, соединенных  $\beta$ -1,4-гликозидными связями, а также ксилан, представляющий собой углевод с меньшей степенью полимеризации, основная цепь которого образована остатками D-ксилозы, соединенных по аналогичному механизму 1–4 связи, в боковых ответвлениях (связь 1–2) присутствуют остатки глюкуроновых кислот. В структуре данного полисахаридного композита наблюдается чередование аморфных и кристаллических областей, а также присутствуют многочисленные заместители, что создает затруднения в подборе эффективных биокатализаторов, способных комплексно воздействовать на гликозидные связи и осуществлять направленный ферментативный гидролиз. Глубокое осахаривание целлюлозных полуфабрикатов имеет как прикладное, так и фундаментальное значение: по накоплению низкомолекулярных продуктов гидролиза возможно изучение компонентного состава целлюлозных материалов.

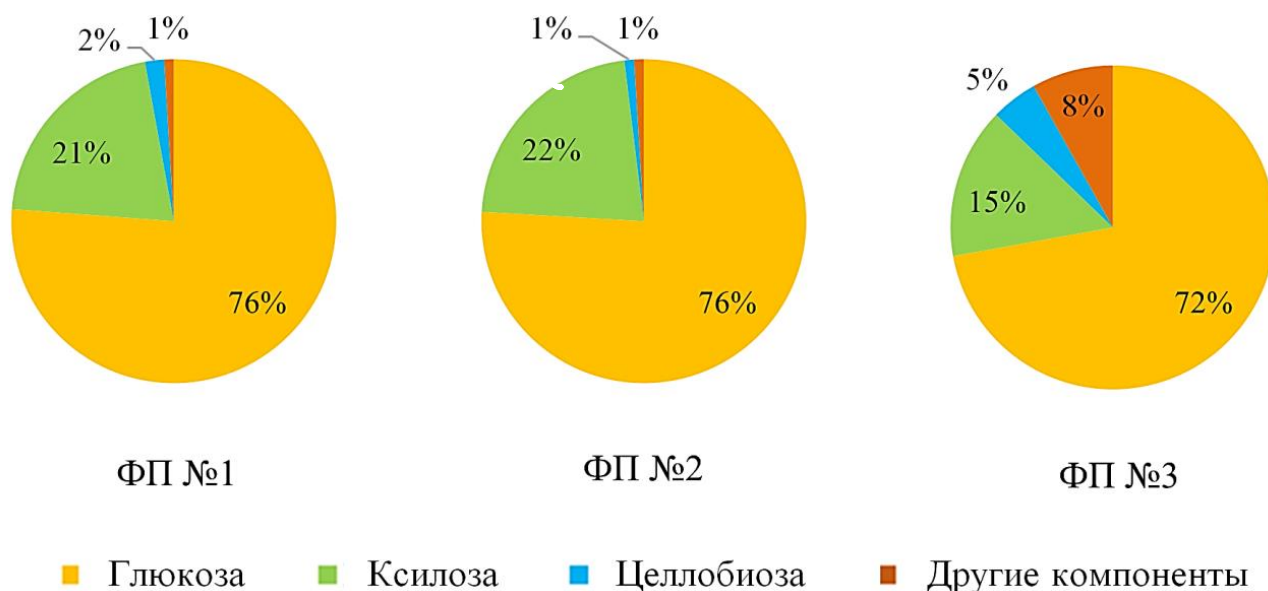
Целью настоящей работы является изучение и оценка эффективности ферментативной деструкции ключевых полисахаридов белой сульфатной лиственной целлюлозы с использованием комплексных биокатализаторов.

**Методическая часть.** В рамках исследования в качестве субстрата для биоконверсии выбрали образцы технической белой лиственной целлюлозы, полученные в производственных условиях. В работе применяли российские промышленные ферментные препараты (ФП), продуцируемые штаммами аскомицетного гриба *Penicillium verruculosum*. Гидролиз проводили в шейкере-инкубаторе Biosan es-20/60 (Biosan, Латвия) при концентрации субстрата 50 г/л, pH 5.0 и температуре 50 °C. Расход ФП составил 10 ед. удельной целлюлазной активности по фильтровальной бумаге (ФБ/г). Углеводный состав растворимых продуктов гидролиза определяли с использованием хроматографической системы высокого давления Agilent 1200 (ФИЦ Биотехнологии РАН).

После 72 ч. инкубации сульфатной целлюлозы с тремя различными ФП *P. verruculosum* получили гидролизаты, представляющие собой смесь моно-, ди- с преобладанием глюкозы и ксилозы (рис.).

При анализе соотношения растворимых компонентов с использованием хроматографического метода показано, что максимальный выход глюкозы составил около 80% от массы субстрата при действии ФП №1 и №2. Данный факт свидетельствует о направленности и высокой интенсивности биокатализа данными препаратами до конечного продукта – глюкозы. Высокие целлюлазные, а именно эндоглюканазная (ЭГ) и целлобиогидролазная (ЦБГ) активности ФП способствуют эффективной деструкции аморфных и кристаллических зон целлюлозы, наличие же  $\beta$ -глюкозидазной активности способствует конверсии продуктов работы ЭГ (олигосахариды и декстрины) и ЦБГ (целлобиоза) в глюкозу. Также данные ФП обладают ксиланазной активностью, уровень которой достаточен для ксилана и ксилоолигосахаридов в ксилозу. Так как в составе полуфабриката целлюлоза и ксилан находятся в связанном состоянии, то деструкция последнего увеличивает реакционную доступ-

ность целлюлозных цепей для воздействия целлюлаз, а также обеспечивает значительный прирост (около 11 г/л) количества ферментируемых сахаров. Данная зависимость подтверждается на примере действия ФП №3: меньший уровень ксиланазной активности вызывает соответственное ингибирование целлюлазного комплекса.



**Рис. 1.** Компонентный состав растворимых продуктов гидролиза (72 ч.) беленой сульфатной лиственничной целлюлозы различными ФП *P. verruculosum*.

Таким образом, применение биокатализаторов *P. verruculosum* обеспечивает эффективную деструкцию основных компонентов технического субстрата – целлюлозы и ксилана, что позволяет получать концентрированные растворы ферментируемых сахаров, с преобладанием в составе пентоз и гексоз в соотношении 1.0 : 3.5. Из этого следует, что ферментативная конверсия беленых сульфатных волокнистых полуфабрикатов является перспективным методом производства качественного сырья для микробиологического синтеза.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-24-20136).*

#### ЛИТЕРАТУРА

Rozhkova A. M., Gusakov A. V., Dotsenko A. S., Sinitsyna O. A., Sinitsyn A. P. Capabilities of the ascomycete fungus *Penicillium verruculosum* and its enzymes for conversion of cellulosic feedstock // Liquid Biofuels: Bioethanol. Cham: Springer International Publishing, 2022. P. 243–266.

Shevchenko A. R., Tyshkunova I. V., Chukhchin D. G., Malkov A. V., Toptunov E. A., Telitsin V. D., Rozhkova A. M., Sinitsyna O. A., Gofman I. V., Aksenov A. S. Production of bio-modified bleached kraft pulp by catalytic conversion using *Penicillium verruculosum* enzymes:

composition, properties, structure, and application // Catalysts, 2023. V. 13. № 1. P. 103. DOI:10.3390/catal13010103.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРОДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ СУБСТРАТА ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ КСИЛОТРОФНЫХ БАЗИДИОМИЦЕТОВ

**В. В. Мартынов, А. А. Шубаков**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [martynov.v.v@ib.komisc.ru](mailto:martynov.v.v@ib.komisc.ru), [shubakov@ib.komisc.ru](mailto:shubakov@ib.komisc.ru)

Среди различных видов отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности к мало используемым отходам относится кора, причем как кора свежезаготовленной древесины, так и кородревесные отходы (КДО) длительного срока хранения (Володин и др., 2022). Перспективными агентами для биотрансформации КДО являются ксилотрофные грибы – природные деструкторы древесины, которые обладают широким спектром специфических гидролитических и окислительных ферментов и поэтому они успешно колонизируют древесные субстраты (Фёдорова и др., 2013). Для оценки перспективности использования ксилотрофных грибов для утилизации КДО в качестве субстрата можно использовать показатель скорости роста грибов. Одним из таких показателей является радиальная скорость роста гриба (Ломберг и др., 2012).

Целью данной работы являлась оценка возможности использования КДО длительного срока хранения в качестве субстрата для культивирования ксилотрофных базидиомицетов.

В работе использовали КДО длительного срока хранения с различной степенью разложения. Образцы отходов были собраны с отвала КДО длительного срока хранения в местечке Лесозавод города Сыктывкара. В качестве субстратов были отобраны образцы двух видов КДО: «верхний» слой, представляющий собой неразложившиеся остатки опилок и коры, и «глубинный» слой, представляющий собой сильно разложившиеся до торфоподобной массы КДО. Образцы сушили и просеивали для очистки от мусора и частиц почвы.

Для определения радиальной скорости роста колонии проводили твердофазную ферментацию (ТФФ) ксилотрофных грибов на КДО длительного срока хранения. Для ТФФ на КДО были использованы следующие штаммы ксилотрофных базидиомицетов: *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd 1924, штаммы 24.24 и 17.24; *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst 1881, штамм 5.21., *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, 1920, штамм 11.01. Штаммы ксилотрофных базидиомицетов были предоставлены для ис-

следования из Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина.

ТФФ проводили в чашках Петри на КДО низкой и высокой степени разложения в течение 30 суток. Масса КДО в чашке составляла 4 грамма. Диаметр чашки Петри 90 мм. Отходы увлажняли средой Норкранс (г/л): глюкоза – 10 г; аммоний виннокислый – 1 г;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 1 г;  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.5 г; железо лимоннокислое – 5 мг;  $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 4.4 мг;  $\text{MnSO}_4$  – 5 мг;  $\text{CaCl}_2$  – 55.5 мг; витамин  $\text{B}_1$  – 40 мг. Объем среды Норкранс в чашке Петри – 15 мл. Субстрат однократно увлажняли перед внесением инокулята. ТФФ проводили в климатической камере MLR-350Н при температуре 26 °С.

Посевным материалом служили диски мицелия диаметром 10 мм, вырезанные стерильной стальной трубкой на расстоянии 8–10 мм от края активно растущей колонии. Диски переносили и мицелием вниз помещали в центр чашки Петри.

В ходе ТФФ фиксировали время начала роста колонии. Критерием начала роста являлось появление мицелия за границами диска. Радиусы колоний измеряли в двух взаимно перпендикулярных направлениях, до полного обрастания среды. Расчет средней скорости роста колонии проводили по следующей формуле:

$$VR = \frac{R1 - R0}{t1 - t0} ,$$

где VR – средняя скорость радиального роста, мм/сут;

R1 – радиус колонии в конце роста, мм;

R0 – радиус колонии в начале фазы линейного роста, мм;

t1 – t0 – продолжительность линейной фазы роста, сутки (Ломберг и др., 2012).

Установлено, что на КДО длительного срока хранения из 4-х исследованных штаммов ксилотрофных грибов способность к колонизации субстрата демонстрируют только 3 штамма, а именно: *T. hirsuta* 17.24, *T. hirsuta* 24.24 и *F. pinicola* 5.21. В начале эксперимента (7 суток) штамм *T. hirsuta* 17.24 показывает высокую радиальную скорость роста, быстро колонизируя субстрат с высокой степенью разложения, но при этом медленнее колонизируя субстрат со средней степенью разложения. Штамм *T. hirsuta* 24.24 на 7-е сутки показывает высокую радиальную скорость роста и быстро колонизирует оба вида субстрата. Штамм *F. pinicola* 5.21 на 7-е сутки быстро колонизирует субстрат со средней степенью разложения, но медленно колонизирует субстрат с высокой степенью разложения.

На 30-е сутки культивирования два испытанных штамма *T. hirsuta* 17.24 и 24.24 продолжают активный рост на обоих субстратах разной степени разложения. На 30-е сутки культивирования штамм *F. pinicola* 5.21 продолжает активно расти на субстрате со средней степенью разложения, но медленно растет на субстрате с высокой степенью разложения.

Таким образом, в процессе твердофазной ферментации КДО с разной степенью разложения испытанными штаммами ксилотрофных базидиомицетов установлено, что они обладают различной скоростью колонизации и радиальной скоростью роста на кородревесных отходах. Так же можно отметить, что фаза адаптации к субстрату (лаг-фаза) в зависимости от вида субстрата различна и составляет от 4-х до 6-ти суток. Исходя из вышеизложенного, из четырёх испытанных штаммов наибольшей способностью к колонизации и росту на КДО обладает штамм *T. hirsuta* штамм 24.24. (см. табл.).

Таблица

**Радиальная скорость роста штаммов ксилотрофных грибов на кородревесных отходах разной степени разложения**

Штамм гриба	Степень разложения субстрата	Глубина залегания, м	Лag фаза, сут.	Радиальная скорость роста, мм/сут	Поверхностная колонизация субстрата, %	Проращивание в субстрат
<i>Trametes hirsuta</i> 17.24	Низкая	3.0–4.0	6	0.31±0.16	40±5	–
		6.0–7.5	6	0.45±0.20	56±5	+
	Высокая	12–15	4	2.6±1.5	100±5	+
		24–27	4	2.75±1.60	100±5	+
<i>Trametes hirsuta</i> 24.24	Низкая	3.0–4.0	4	1.10±0.20	67±5	+
		6.0–7.5	4	1.30±0.20	91±5	+
	Высокая	12–15	4	2.75±1.60	100±5	+
		24–27	4	2.68±1.50	100±5	+
<i>Fomitopsis pinicola</i> 5.21	Низкая	3.0–4.0	4	2.80±1.70	100±5	+
		6.0–7.5	4	1.80±1.00	78±5	+
	Высокая	12–15	6	0.50±0.06	43±5	–
		24–27	6	0.60±0.08	47±5	–

Анализируя полученные результаты, можно отметить большую приспособленность и более высокую радиальную скорость роста штаммов белой гнили древесины, к которым относятся *T. hirsuta* 24.24 и 17.24, способные утилизировать лигнин и продукты его трансформации, а так же обладающие повышенной устойчивостью к веществам фенольной природы по сравнению с грибами бурой гнили, к которым относится штамм *F. pinicola* 5.21. Повышенная устойчивость грибов белой гнили связана с их ферментным комплексом, который содержит полифенолоксидазы, участвующие в разрушении лигнина (Володин и др., 2022).

*Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания по теме «Научно обоснованные биотехнологии для улучшения экологической обстановки и здоровья человека на Севере» № 1021051101411-4-1.6.23.*

ЛИТЕРАТУРА

Володин В. В., Шубаков А. А., Володина С. О., Шергина Н. Н., Васильев Р. Г. Тенденции в развитии методов утилизации коры и кородревесных отходов длительного хранения (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока, 2022. V. 23(5). P. 611–632. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.611-632>.

Ломберг М. Л., Соломко Э. Ф. Рост культур макромицетов на агаризованных питательных средах и плотных субстратах. Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре: Сборник научных трудов в двух томах. Том 2. Киев: Альтерпрес, 2012. С. 345–371.

Фёдорова Т. В., Шахова Н. В., Кляйн О. И., Глазунова О. А., Малошенок Л. Г., Куликова Н. А., Псурцева Н. В., Королёва О. В. Сравнительный анализ лигнолитического потенциала базидиальных грибов, принадлежащих к различным таксономическим и экологическим группам // Прикладная биохимия и микробиология, 2013. Т. 49. № 6. С. 570–579. DOI: [10.7868/S0555109913060081](https://doi.org/10.7868/S0555109913060081).

**ВНУТРИВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕГО ПОКОЯ  
ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *PINUS* НА ПРИМЕРЕ  
РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИПОВ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ  
В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ**

**И. В. Масенцова**

Сибирский федеральный университет, Красноярск

E-mail: [irina.masentsova@yandex.ru](mailto:irina.masentsova@yandex.ru)

Целью данной работы было изучение особенностей зимнего покоя климатипов сосны сибирской, сосны корейской и сосны обыкновенной в географических культурах. Выявлено, что деревья северных климатипов имеют небольшую глубину зимнего покоя и во время зимне-весенних оттепелей восстанавливают процессы фотосинтеза и транспирации. Поэтому они в большей степени, чем деревья южных климатипов, подвержены опасности иссушения и повреждения хвои при последующем понижении температуры.

Многие хвойные растения занимают особое положение в фитоценозах ввиду своей способности фотосинтезировать круглый год. Вечнозеленые растения северных и умеренных широт в течение вегетации испытывают действие экологических факторов, часто отклоняющихся от оптимальных значений, что приводит к необходимости значительной перестройки (адаптации) растительного организма (Головкин и др., 2013).

Одно из эволюционных приспособлений древесных растений умеренной зоны к переживанию неблагоприятных условий зимнего периода – их способность перехо-

дить в состояние зимнего покоя. Регуляция этого перехода осуществляется в результате изменения фотопериода и температуры (Чиркова, 2002). В условиях изменения климата возможно появление зимне-весенних оттепелей на территориях, на которых такие явления отсутствовали ранее. Как следствие, происходит уменьшение глубины зимнего покоя (в фазе вынужденного покоя) с последующим повреждением хвои. Поэтому весьма актуальной становится проблема оценки внутривидовых различий в устойчивости к неблагоприятным факторам разных представителей рода *Pinus*, являющихся основными лесообразующими породами хвойных лесов во многих регионах страны.

Исследуемые нами географические культуры кедровых сосен представлены тремя климатипами сосны сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour.) – Таштагольским (Кемеровская область), Ермаковским (Красноярский край), Шегарским (Томская область), а также двумя климатипами сосны корейской (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) – Облученским (Хабаровский край) и Чугуевским (Приморский край). В данной работе также были рассмотрены три климатипа сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – Кандалакшский (Мурманская область), Богучанский (Красноярский край) и Балгазинский (Республика Тыва) (Кузьмина, Кузьмин, 2010).

Для того, чтобы определить, насколько выражены внутривидовые различия в глубине зимнего покоя и функционировании фотосинтетического аппарата в период выхода из этого состояния, мы, в процессе искусственного выведения побегов из состояния покоя в лабораторных условиях, проследили изменения содержания фотосинтетических пигментов, показателей индуцированной флуоресценции хлорофилла и содержания абсцизовой кислоты (АБК), как одного из признанных индикаторов покоя.

На основании проведенных исследований можно заключить, что деревья южных климатипов кедровых сосен и сосны обыкновенной имеют бóльшую глубину покоя, обусловленную высоким содержанием АБК в предзимний период, когда растения наибольшим образом подвержены холодовому стрессу и АБК выступает в роли регулятора перехода в фазу глубокого покоя. Эти деревья, в условиях географических культур на территории Красноярского края, раньше переходят в состояние зимнего покоя, что, в свою очередь, сопровождается уменьшением содержания фотосинтетических пигментов. Большее количество АБК дольше поддерживает фазу глубокого (органического) покоя и предотвращает преждевременный выход из этого состояния во время зимних оттепелей, характерных для южных районов. У северных климатипов такой защитный механизм отсутствует, низкое содержание АБК приводит к быстрому переходу этих растений из фазы глубокого в фазу вынужденного покоя, которая регулируется в основном температурой, что в данных условиях вполне объяснимо. Северные растения, имеющие более короткий вегетационный период, эволюционировали в направлении повышения потенциальной готовности к возобновлению фотосинтетической активности, о чем наряду с наибольшим содержанием фотосинтетических пигментов и наименьшим содержанием АБК свидетель-



ствуется быстрое нарастание величины максимального квантового выхода ФСII и скорости транспорта электронов. Поэтому, в связи с изменением климата, можно предположить, что северные климатотипы будут более уязвимыми к меняющимся условиям. Появление зимне-весенних оттепелей, не характерных ранее для этих районов могут быть серьезным фактором риска для деревьев с небольшой глубиной зимнего покоя – они, восстанавливая процессы фотосинтеза и транспирации, подвержены опасности иссушения и повреждения хвои при последующем понижении температуры.

*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

Головки Т. В., Яцко Я. Н., Дымова О. В. Сезонные изменения состояния фотосинтетического аппарата трех бореальных видов хвойных растений в подзоне средней тайги на европейском северо-востоке // Хвойные бореальной зоны, 2013. № 1. С. 73–78

Кузьмина Н. А., Кузьмин С. Р. Отбор перспективных климатотипов сосны обыкновенной в географических культурах в Красноярском Приангарье // Хвойные бореальной зоны, 2010. Т. 26. № 1. С. 115–117.

Чиркова Т. В. Физиологические основы устойчивости растений. СПб.: СПбГУ, 2002. 244 с.

### **ВЛИЯНИЕ СОЛОМЫ НА МИКРОБНОЕ СООБЩЕСТВО АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ**

**Д. А. Никитин\*, М. В. Семенов\*, Н. А. Ксенофонтова\*, А. К. Тхакахова\*,  
И. В. Русакова\*\*, С. М. Лукин\*\***

\*ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Москва

E-mail: [dimnik90@mail.ru](mailto:dimnik90@mail.ru)

\*\*Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал «Верхневолжский ФАНЦ», д. Вяткино

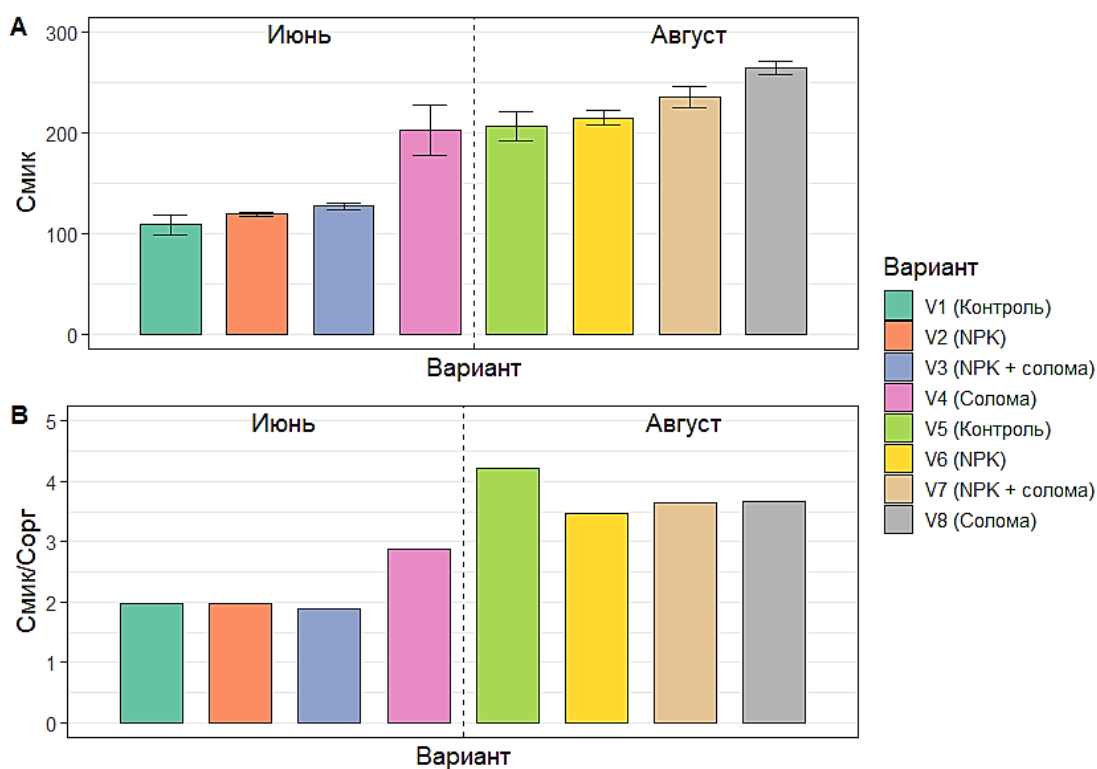
Интенсификация земледелия приводит к существенным потерям органического углерода ( $C_{орг}$ ) и негативному влиянию на свойства почвы. Это можно нивелировать, заделывая на поля солому (Никитин и др., 2023). В экономически развитых странах солому считают отходом, который необходимо сжигать, что недопустимо с точки зрения охраны окружающей среды. Следовательно, внесение соломы одновременно решает 3 задачи – компенсирование потери почвенного органического вещества (ПОВ), увеличение плодородия и уничтожение отходов (Berhane et al.,

2020). Заделывание соломы приводит к повышению секвестрации углерода, биологической активности почвы и устранению негативных последствий применения минеральных удобрений на микробиом (Semenov et al., 2021), однако может активизировать прайминг-эффект минерализации  $C_{орг}$  (Berhane et al., 2020; Никитин и др., 2023).

Цель исследования – оценка влияния соломы на количественные показатели микроорганизмов дерново-подзолистой почвы (Umbric Retisol) в рамках длительного полевого эксперимента во Владимирской области ( $56^{\circ}03'16''$  с.ш.,  $40^{\circ}29'28''$  в.д.). Варианты опыта: контроль без удобрений (V1 и V5); N54P51K57 (среднегодовая доза) (V2 и V6); N54P51K57 + солома озимой пшеницы, люпина, ячменя по 3 т/га (V3 и V7); солома озимой пшеницы, люпина, ячменя по 3 т/га (V4 и V8).

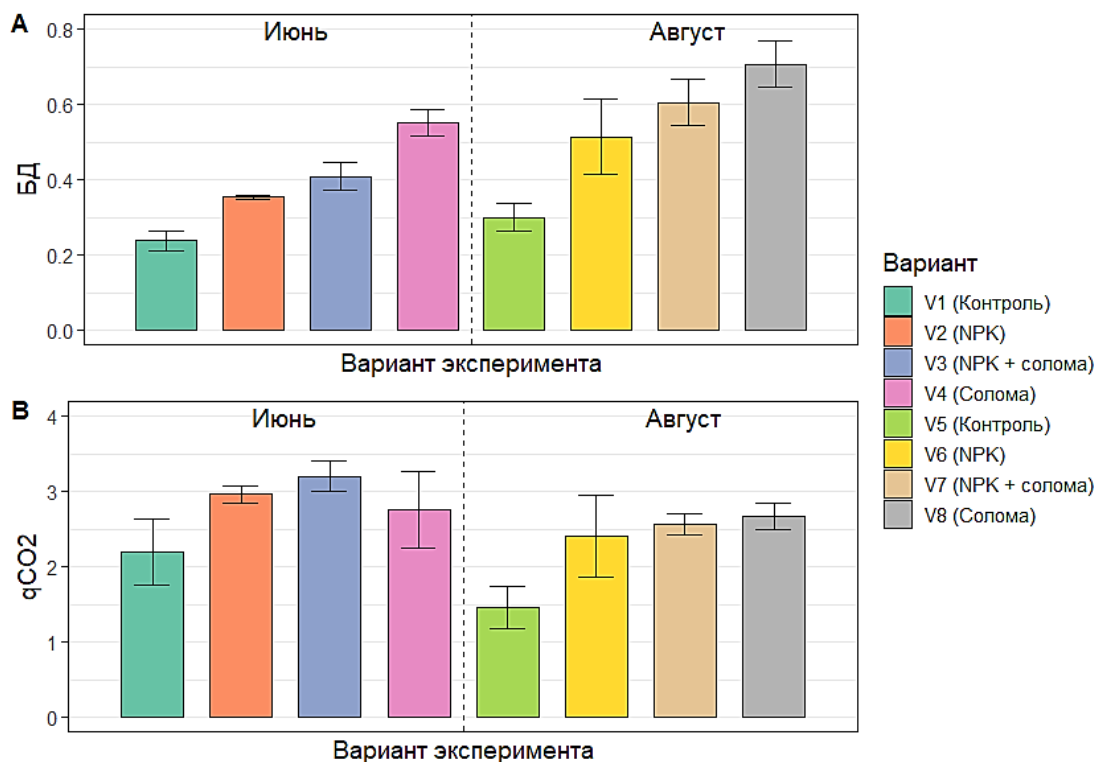
Углерод микробной биомассы ( $C_{мик}$ ) оценивали методом субстрат-индуцированного (СИД) и базального (БД) дыхания. Биомасса прокариот и грибов оценена с помощью метода люминесцентной микроскопии. Количественную оценку содержания рибосомальных генов микроорганизмов осуществляли методом ПЦР в реальном времени. Для амплификации целевых участков ДНК использованы праймеры: Eub338/Eub518 – для бактерий, arc915f/arc1059r – для архей, ITS1f/5.8S – для грибов.

Обильное (42 т/га) заделывание соломы в пахотный слой почвы в 1.25–2 раза увеличивало содержание  $C_{мик}$ , причем максимальный рост показателя выявлен в вариантах без удобрений (рис. 1).



**Рис. 1.** Углерод микробной биомассы (мкг/г) (А) и ее доля в общем органическом углероде (В) почвы.

Значения БД и  $qCO_2$  возрастали в ряду: контроль < NPK < NPK+солома < солома (Никитин и др., 2023). Задельвание соломы повышало численность копий генов грибов и бактерий в 2 раза, а архей – в 1.5 раза (рис. 2). Внесение минеральных удобрений без соломы снижало  $qCO_2$ , биомассу грибов и численность копий генов архей в 1.5–3 раза.

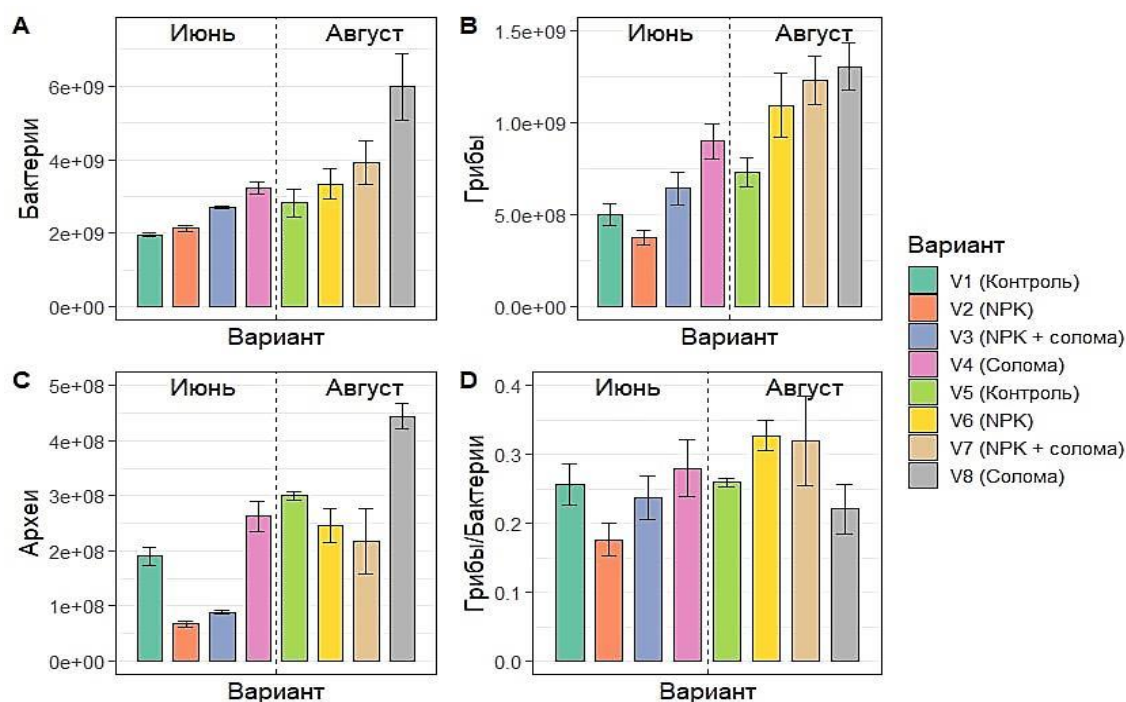


**Рис. 2.** Активность базального дыхания микроорганизмов (мкл/г ч) (А) и величины дыхательного коэффициента  $qCO_2$  (В).

Соотношение грибы/бактерии по методу люминесцентной микроскопии варьировало от 4 до 15, а по результатам количественной ПЦР – от 0.17 до 0.33 (рис. 3) (Никитин и др., 2023). Наименьшие значения соотношения грибы/бактерии отмечены для вариантов с минеральными удобрениями, а наибольшие – с соломой.

Следовательно, внесение соломы – важный технологический прием для повышения микробиологической активности почвы и нивелирования негативного влияния минеральных удобрений на почвенную микробиоту.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект №21-76-10025.*



**Рис. 3.** Численность генов микроорганизмов в почве методом количественной ПЦР (копии генов/ г): бактерии (А), грибы (В), археи (С), соотношение грибы/бактерии (D).

#### ЛИТЕРАТУРА

Никитин Д. А., Семенов М. В., Ксенофонтова Н. А., Тхакахова А. К., Русакова И. В., Лукин С. М. Влияние свежего органического вещества соломы на микробиологические показатели дерново-подзолистой почвы // Почвоведение, 2023. № 5. С. 640–653.

Berhane M., Xu M., Liang Z., Shi J., Wei G., Tian X. Effects of long-term straw return on soil organic carbon storage and sequestration rate in North China upland crops: A meta-analysis // Global change biology, 2020. V. 26(4). P. 2686–2701. <https://doi.org/10.1111/gcb.15018>

Semenov M. V., Krasnov G. S., Semenov V. M., Ksenofontova N., Zinyakova N. B., van Bruggen A. H. Does fresh farmyard manure introduce surviving microbes into soil or activate soil-borne microbiota? // Journal of Environmental Management, 2021. V. 294. P. 113018.

### ВЛИЯНИЕ ИЗБЫТКА ЦИНКА НА АНТИОКСИДАНТНУЮ СИСТЕМУ *BRASSICA JUNCEA* И *SINAPIS ALBA*

**И. А. Нилова, Н. С. Репкина, Н. М. Казнина**

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального  
исследовательского центра «Карельский научный центр  
Российской академии наук», Петрозаводск  
E-mail: [im-ira@mail.ru](mailto:im-ira@mail.ru).

Известно, что некоторые представители семейства *Brassicaceae*, в частности, *Brassica juncea* L. (Czern.) и *Sinapis alba* L., способны успешно произрастать на поч-

вах с высоким уровнем загрязнения цинком, накапливая его при этом в больших количествах в органах (Balafrej et al., 2020; Soleimannejad et al., 2020). При этом *B. juncea* относят к гипераккумуляторам этого металла, тогда как *S. alba* является исключением. Вследствие этого механизмы металлоустойчивости у этих видов различаются.

Среди механизмов устойчивости растений к высоким концентрациям цинка одним из наиболее важных является поддержание в этих условиях окислительно-восстановительного баланса клеток, что достигается активизацией компонентов антиоксидантной системы. При избытке цинка в окружающей среде у растений, как правило, повышается активность ряда антиоксидантных ферментов, в том числе, супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ), гваякол-пероксидазы (ГвПО), а также увеличивается содержание низкомолекулярных антиоксидантов, таких как пролин (Balafrej et al., 2020). Вместе с тем вклад антиоксидантной системы в адаптацию разных видов растений семейства *Brassicaceae* к высоким концентрациям этого металла изучен довольно слабо. В связи с этим целью настоящего исследования явилось сравнительное изучение влияния избытка цинка в корнеобитаемой среде на активность компонентов антиоксидантной системы у растений *B. juncea* и *S. alba*.

Исследования проводили на 3-х недельных растениях горчицы сарептской (*B. juncea*) сорта Славянка и горчицы белой (*S. alba*) сорта Бельгия. Растения выращивали в вегетационных условиях на песчаном субстрате. Цинк в виде сернокислой соли добавляли в субстрат в концентрациях 5 (контроль), 50, 100 или 150 мг/кг. Об устойчивости растений к изученным концентрациям цинка судили по изменению (по отношению к контролю) показателей роста побега (высота, сырая и сухая биомассы) и интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ). Для изучения влияния избытка цинка на антиоксидантную систему растений измеряли активность антиоксидантных ферментов (СОД, КАТ и ГвПО) и содержание пролина в листьях.

Результаты исследования показали, что цинк в высоких концентрациях оказывал более сильное отрицательное воздействие на показатели роста побега *S. alba* по сравнению с *B. juncea*. Так, при 150 мг/кг субстрата у *S. alba* высота побега и сырая биомасса снижались по отношению к контролю более, чем в 3.5 и 4.5 раза, соответственно, тогда как у *B. juncea* – менее, чем в 3 раза. При этом у *S. alba* в этих условиях возрастала (на 39% по сравнению с контролем) интенсивность ПОЛ, свидетельствуя о развитии окислительного стресса, тогда как у *B. juncea* подобного эффекта не наблюдалось.

Определенные различия между видами обнаружены и в активности антиоксидантных ферментов. Так, у *S. alba* активность СОД возрастала (на 34% по сравнению с контролем) уже при использовании цинка в концентрации 50 мг/кг субстрата и в дальнейшем сохранялась на этом же уровне. При этом повышения активности КАТ не наблюдалось. С увеличением концентрации металла до 50 и 100 мг/кг субстрата значительно увеличивалась (на 400 и 700%, соответственно) активность

ГвПО. Во всех вариантах опыта отмечено также трехкратное повышение содержания пролина.

У *V. juncea* активность СОД не изменялась ни при одной из изученных концентраций металла, в то время как при использовании цинка в концентрациях 50 и 100 мг/кг субстрата возрастала активность КАТ (на 28 и 14% по сравнению с контролем, соответственно) и ГвПО (на 50 и 60%, соответственно). Содержание пролина в листьях опытных растений также повышалось, однако, лишь в 2 раза по сравнению с контролем. Необходимо также отметить, что у растений этого вида в оптимальных условиях минерального питания активность КАТ и ГвПО оказалась выше, чем у *S. alba*.

На основании полученных данных можно сделать вывод о более высокой устойчивости к изученным концентрациям цинка *V. juncea* по сравнению с *S. alba*. Это обеспечивается, отчасти, большей активностью антиоксидантных ферментов у растений этого вида в отсутствии металла и небольшим ее увеличением в условиях его избытка. Повышение при этом еще и содержания пролина способствовало сохранению в этих условиях неизменной интенсивности ПОЛ и, как следствие, поддержанию окислительно-восстановительного баланса клеток. У растений *S. alba* при этих же концентрациях металла наблюдалось усиление ПОЛ, однако повышение активности СОД и ГвПО, а также увеличение содержания пролина позволило избежать значительного окислительного стресса в условиях действия высоких концентраций цинка в субстрате.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-24-00668). В работе использовано оборудование Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».*

#### ЛИТЕРАТУРА

Balafrej H., Bogusz D., Triqui Z. A. Guedira A., Bendaou N., Smouni A., Fahr M. Zinc hyperaccumulation in plants: a review // *Plants*, 2020. V. 9. P. 562. <https://doi.org/10.3390/plants9050562>

Soleimannejad Z., Sadeghipour H. R., Abdolzadeh A., Golalipour M. Physiological responses of white mustard grown in Zn-contaminated soilset // *Acta Physiol. Plant*, 2020. V. 42. P. 131. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03119-8>

## ВЛИЯНИЕ ФИТОГОРМОНОВ НА ФАКТОРЫ ВИРУЛЕНТНОСТИ ПАТОГЕНА *STAGONOSPORA NODORUM* И СТЕПЕНЬ РАЗВИТИЯ СЕПТОРИОЗА ПРИ ИНФИЦИРОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНОТИПОВ ПШЕНИЦЫ

Т. В. Нужная\*, \*\*, С. В. Веселова\*, М. Ю. Шейн\*, И. В. Максимов\*

\*Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Уфимского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа  
E-mail: [tanyawww89@mail.ru](mailto:tanyawww89@mail.ru)

\*\*Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа

Взаимоотношения в патосистеме «пшеница – *S. nodorum*» осуществляются по типу «ген-на-ген» в зеркальном отражении, т.е. взаимодействие некротрофных эффекторов (НЭ) гриба (*SnTox*) с продуктами генов восприимчивости хозяина (*Snn*) ведет к образованию некрозов и хлорозов и развитию болезни в тканях растений пшеницы (Haugrud et al., 2022). НЭ основные факторы вирулентности патогена, подавляющие иммунную систему растения-хозяина с помощью манипулирования его гормональными сигнальными путями. Однако влияние фитогормонов на НЭ *S. nodorum* практически не изучено.

Объектом исследования служили 3 сорта мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) контрастные по устойчивости к *Stagonospora nodorum* Berk.: Омская 35 (Ом35), Казахстанская 10 (Каз10), Жница (Жн) и изолят *S. nodorum* SnБ из коллекции Института биохимии и генетики УФИЦ РАН. Растения за 24 часа до инфицирования патогеном инкубировали в растворах фитогормонов: цитокининов (ЦК) (2.5 мкМ), абсцизовой кислоты (АБК) (2 мкМ), салициловой кислоты (СК) (50 мкМ) и опрыскивали этефоном (ЭТ) химическим предшественником этилена в концентрации 1.5 мМ. Площадь зоны поражения измеряли с помощью ПК и компьютерной программы ImageJ ([rsbweb.nih.gov/ij/download.html](http://rsbweb.nih.gov/ij/download.html)), выражали в % от общей площади листа. Анализ экспрессии генов НЭ *SnToxA* (JX997419) и *SnTox3* (FJ823644) проводили методом количественной ПЦР в режиме реального времени на приборе «iCycler iQ5 Real-Time PCR Detection System» («BioRad», США) с использованием интеркалирующего красителя SYBR Green I («Синтол», Россия). Все эксперименты повторяли 3 раза и проводили в 3-х биологических и 3-х аналитических повторностях (общее n = 9) в случае изучения экспрессии генов, а опыты по анализу площади поражения включали в себя не менее 30 биологических повторов (общее n = 90). В таблицах приведены средние арифметические значения и их доверительные интервалы, рассчитанные по стандартным ошибкам.

Ранее нами было показано, что СК и ЦК участвуют в развитии защитных реакций растений пшеницы против *S. nodorum*, а этилен увеличивает вирулентность па-

тогена, связанную с эффектором *SnTox3* (Veselova et al., 2021a). Для этих экспериментов был выбран изолят SnБ несущий в геноме два гена НЭ – *SnToxA* и *SnTox3*. Эффектор *SnToxA* взаимодействует с продуктом гена хозяина *Tsn1*, а эффектор *SnTox3* взаимодействует с продуктом гена хозяина *Snn3*. Три сорта, использованные в этой работе, несли разный набор генов восприимчивости (Таблица 1), что было проверено ранее (Veselova et al., 2021b). Сорт мягкой яровой пшеницы Омская 35 был нечувствителен к двум эффекторам патогена *SnToxA* и *SnTox3*, и проявлял устойчивость к изоляту SnБ (несовместимое взаимодействие). Сорт Казахстанская 10 был нечувствителен только к НЭ *SnToxA* и чувствителен к НЭ *SnTox3* (одно специфичное совместимое взаимодействие *SnTox3-Snn3*). Сорт Жница имел оба гена восприимчивости и был чувствителен к двум НЭ, т.е. имел два совместимых специфичных взаимодействия ген-на-ген (табл. 1).

Инфицирование изолятом SnБ сорта Ом35 приводило к развитию минимальных зон поражения, занимающих 8 % от общей площади листа, у сорта Каз10 было поражено чуть больше половины площади листа, а у сорта Жн – 71% (табл. 1). Обработка растений ЦК или СК приводила к уменьшению зон поражения (8.5–11%) у всех трех сортов независимо от генотипа хозяина, обработка растений этефоном, увеличивала зоны поражения во всех случаях до 72 – 90% (табл. 1). Влияние АБК на развитие защитных реакций у растений отличалось от влияния других фитогормонов тем, что зависело от генотипа растения. У сортов Жн (*Tsn1/Snn3*) и Ом35 (*tsn1/snn3*) обработка АБК не влияла на развитие болезни, а у сорта Каз10 (*tsn1/Snn3*) уменьшала зоны поражения до 15%, т. е. повышала устойчивость сорта к патогену (табл. 1).

Таблица 1

**Влияние фитогормонов на развитие септориоза у трех различных генотипов пшеницы через 6 суток после инфицирования изолятом *S. nodorum* SnБ**

Вариант обработки	Омская 35 ( <i>tsn1/snn3</i> )	Жница ( <i>Tsn1/Snn3</i> )	Казахстанская 10 ( <i>tsn1/Snn3</i> )
SnБ*	8±0.6	71±5.7	51±4.6
SnБ+АБК	9±0.8	73±5.9	15±1.2
SnБ+ЦК	9±0.8	6.5±0.3	9.1±0.5
SnБ+ЭТ	71.6±5.7	90±5.4	73±5.9
SnБ+СК	8.5±0.8	11±0.8	9.8±0.6

Примечание. \* в таблице указана площадь поражения листа, % от общей площади листа.

В дальнейшей работе было изучено влияние четырех фитогормонов на экспрессию двух генов НЭ. Генотип хозяина не влиял на экспрессию гена НЭ *SnToxA*, его экспрессия увеличивалась как при инфицировании восприимчивых, так и устойчивых генотипов пшеницы (табл. 2). Обработка ЭТ повышала, а обработка ЦК и АБК снижала экспрессию гена *SnToxA* у всех трех сортов независимо от генотипа хозяина (табл. 2). Влияние СК на экспрессию гена *SnToxA* зависело от генотипа хозяина. В отсутствии совместимого взаимодействия *SnToxA-Tsn1* (сорта Ом35 и Каз10) СК



не влияла на экспрессию данного гена, в присутствии совместимого взаимодействия *SnToxA-Tsn1* (сорт ЖН) СК повышала экспрессию гена *SnToxA* (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние фитогормонов на экспрессию гена *SnToxA* изолята *S. nodorum* SnБ при инфицировании трех различных генотипов пшеницы**

Вариант обработки	Омская 35 ( <i>tsn1/snn3</i> )			Жница ( <i>Tsn1/Snn3</i> )			Казахстанская 10 ( <i>tsn1/Snn3</i> )		
	Время после инфицирования растений пшеницы, часы								
	6	24	72	6	24	72	6	24	72
SnБ	1±0.1	2.5±0.3	5±0.3	1±0.1	2.7±0.2	1.6±0.04	1±0.1	4.4±0.4	2±0.3
SnБ+АБК	0.74±0.1	0.4±0.09	0.4±0.06	1.1±0.1	1.4±0.07	0.5±0.03	1.5±0.05	1.1±0.08	0.6±0.03
SnБ+ЦК	1.5±0.2	0.2±0.08	0.6±0.07	0.4±0.02	1.4±0.08	0.8±0.05	1±0.03	0.9±0.05	0.5±0.02
SnБ+ЭТ	1.4±0.1	3.6±0.1	16±1.3	2.4±0.2	1.9±0.2	6±0.5	3.7±0.2	7±0.5	6±0.5
SnБ+СК	0.7±0.08	2.8±0.5	3.3±0.2	2.9±0.2	3±0.1	5±0.4	2.6±0.2	3.9±0.2	3±0.3

Генотип хозяина также не влиял на экспрессию гена НЭ *SnTox3*, его экспрессия увеличивалась как при инфицировании восприимчивых, так и устойчивых генотипов пшеницы (табл. 3). Обработка ЭТ повышала, а обработка СК или ЦК либо не влияла, либо снижала экспрессию гена НЭ *SnTox3* у всех трех сортов независимо от генотипа хозяина (табл. 3). Влияние АБК на экспрессию гена *SnTox3* зависело от генотипа хозяина. Причем наличие или отсутствие взаимодействия *SnTox3-Snn3* не играло роли во влиянии АБК на экспрессию гена *SnTox3*, а наличие *SnToxA-Tsn1* имело значение. В отсутствии совместимого взаимодействия *SnToxA-Tsn1* АБК повышала экспрессию данного гена, в присутствии совместимого взаимодействия *SnToxA-Tsn1* АБК немного снижала экспрессию гена *SnTox3* (табл. 3). В данном случае возможно влияние других взаимодействий, например *SnTox1-Snn1* (Phan et al., 2016).

Таблица 3

**Влияние фитогормонов на экспрессию гена *SnTox3* изолята *S. nodorum* SnБ при инфицировании трех различных генотипов пшеницы**

Вариант обработки	Омская 35 ( <i>tsn1/snn3</i> )			Жница ( <i>Tsn1/Snn3</i> )			Казахстанская 10 ( <i>tsn1/Snn3</i> )		
	Время после инфицирования растений пшеницы, часы								
	6	24	72	6	24	72	6	24	72
SnБ	1±0.01	3±0.3	4±0.3	1±0.1	5±0.4	6±0.4	1±0.1	2.3±0.2	4.4±0.4
SnБ+АБК	1±0.01	3.6±0.3	6.9±0.6	0.9±0.1	2.3±0.6	4.4±0.3	1.7±0.08	2.7±0.3	13.2±1.4
SnБ+ЦК	2.5±0.2	2.6±0.1	4.5±0.4	0.5±0.04	3.6±0.09	1.6±0.2	1.1±0.08	2.2±0.1	3.4±0.4
SnБ+ЭТ	2.4±0.2	2.3±0.2	11.5±0.9	2.6±0.2	1±0.1	24±1.5	2.5±0.2	1.8±0.1	14.7±1.2
SnБ+СК	1.2±0.9	2.6±0.3	2.5±0.2	0.1±0.01	4.9±0.04	1.6±0.2	2.2±0.2	2.1±0.2	4.6±0.4

Таким образом, этилен и ЦК влияли на экспрессию генов НЭ неспецифично. ЦК в основном снижали, а обработка ЭТ повышала экспрессию *SnToxA* и *SnTox3*. Такое влияние можно объяснить тем, что ЦК стимулируют устойчивость, а этилен

подавляет устойчивость пшеницы к данному патогену (Veselova et al., 2021b). АБК и СК влияли специфично на экспрессию генов НЭ *SnTox3* и *SnToxA*, соответственно, в зависимости от присутствия или отсутствия совместимого взаимодействия *SnToxA-Tsn1*. На основании полученных результатов можно сделать предположение о влиянии НЭ *SnToxA* на сигнальные пути АБК и СК.

#### ЛИТЕРАТУРА

Haugrud A. R. P., Zhang Z., Friesen T. L., Faris J. D. Genetics of resistance to septoria nodorum blotch in wheat // Theoretical and Applied Genetics, 2022. V. 135. P. 3685–3707. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04036-9>

Phan H. T., Rybak K., Furuki E., Breen S., Solomon P., Oliver R. P., Tan K. Differential effector gene expression underpins epistasis in a plant fungal disease // Plant J., 2016. V. 87. P. 343–354. <https://doi.org/10.1111/tpj.13203>

Veselova S. V., Nuzhnaya T. V., Burkhanova G. F., Rumyantsev S. D., Maksimov I. V. Reactive oxygen species in host plant are required for an early defense response against attack of *Stagonospora nodorum* Berk. necrotrophic effectors SnTox // Plants, 2021a. V. 10. P. 1586. <https://doi.org/10.3390/plants10081586>

Veselova S. V., Nuzhnaya T. V., Burkhanova G. F., Rumyantsev S. D., Khusnutdinova E. K., Maksimov I. V. Ethylene-cytokinin interaction determines early defense response of wheat against *Stagonospora nodorum* Berk // Biomolecules, 2021b. V. 11. P. 174. <https://doi.org/10.3390/biom11020174>

### **АКТИВНОСТЬ МИТОХОНДРИЙ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА (ПРИ ДЕЙСТВИИ ПРООКСИДАНТА ПАРАКВАТА)**

**Ю. Д. Осипова\*\***, **К. В. Ядрихинский\*\***, **М. А. Шелякин\***,  
**Е. В. Силина\***, **Е. В. Гармаш\***

\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар

\*\*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар  
E-mail: [garmash@ib.komisc.ru](mailto:garmash@ib.komisc.ru)

В электрон-транспортной цепи растительных митохондрий (ЭТЦ), в отличие от животных, помимо основного цитохромного энергогенерирующего пути (ЦП), присутствует альтернативный путь (АП) через терминальную альтернативную оксидазу (АОХ). АОХ принимает электроны с пула убихинона на кислород, минуя два участка сопряжения мембранного потенциала (комплексы III и IV). Это снижает энергетическую эффективность дыхания, но поддерживает окислительно-восстановительное состояние ЭТЦ и предотвращает образование АФК (Vanlerberghe et al., 2020). Изучение регуляции окислительно-восстановительных процессов в ми-

тохондриях, влияющее на состояние клетки и целостного организма, связано с анализом активности митохондрий (Побежимова и др., 2004).

Целью работы было изучение дыхания и функциональной активности митохондрий проростков пшеницы в условиях окислительного стресса, вызванного воздействием прооксиданта – гербицида параквата (ПК). ПК приводит к образованию супероксидного анион-радикала ( $O_2^{\cdot-}$ ) – активной формы кислорода.

Объектом исследований были 5-дневные этиолированные проростки пшеницы (*Triticum aestivum* L., с. Иргина); в контроле – необработанные, в опыте – срезанные этиолированные листья, выдержанные в течение 3 ч в 10 мкМ растворе ПК. Митохондрии выделяли из побегов проростков при помощи дифференциального центрифугирования (Побежимова и др., 2004). Интенсивность дыхания митохондрий измеряли по скорости поглощения  $O_2$  полярографически с использованием электрода Кларка (“Oxytherm system”, Hansatech Inst., Англия). Чистоту и качество полученного препарата митохондрий оценивали по активности цитохром *c* оксидазы (СОХ), величине дыхательного контроля (ДК), коэффициенту АДФ/О (Побежимова и др., 2004). Окислительную и фосфорилирующую активность митохондрий определяли в присутствии малата и сукцината (при добавлении глутамата), потенциальную активность АОХ – в присутствии ингибиторов АП и ЦП (Garmash et al., 2015). Оценивали экспрессию генов АОХ методом ОТ-ПЦР (Garmash et al., 2015); содержание  $O_2^{\cdot-}$  в листе – спектрофотометрически (Chaitanya, Naithani, 1994).

Изолированные из проростков пшеницы митохондрии в контроле и опыте характеризовались высокой степенью сохранности. Целостность мембраны составляла в среднем 85–90% (табл.). Коэффициенты ДК и АДФ/О находились в диапазоне величин, типичных для интактных митохондрий (Побежимова и др., 2014; Garmash et al., 2015). Митохондрии контрольного и опытного варианта различались по параметрам своей окислительной и фосфорилирующей способности. При действии ПК скорость окисления малата и сукцината была ниже, чем в контроле. Активность СОХ также имела тенденцию к снижению. Это указывало на нарушение работы ЦП. При этом потенциальная активность АОХ при действии ПК имела более высокие показатели по сравнению с контролем (табл.). Доля АП в дыхании изолированных митохондрий (в присутствии малата) увеличивалась от 20 до 40%. Более высокая чувствительность скорости дыхания к ингибитору АОХ сопровождалась уменьшением величины АДФ/О, что свидетельствовало о снижении степени сопряжения АТФ. Это можно расценивать как признак нарушения энергетического баланса в митохондриях.

Действие ПК вызывало усиление экспрессии одного из двух известных генов АОХ пшеницы – *AOX1c*. Стресс-индуцибельный характер экспрессии *AOX1c* также выявлен в реакции проростков пшеницы на гипотермию (Грабельных и др., 2014). При этом содержание супероксида в тканях не различалось в контрольном и опыт-

ном варианте, что свидетельствовало об эффективном функционировании АОХ и, по-видимому, систем антиоксидантной защиты.

Таблица

**Влияние параквата (10 мкМ) на дыхание митохондрий (нмоль O<sub>2</sub>/мг белка мин) и содержание O<sub>2</sub><sup>•-</sup> (Δ540/г сырой массы мин) в листьях пшеницы (*Triticum aestivum* L.)**

Параметр	Контроль	Паракват
Целостность внешней мембраны, %	97±5	87±5
ДК (в присутствии малата+глутамата)	1.65±0.17	1.38±0.07
АДФ/О (в присутствии малата+глутамата)	2.47±0.04	2.18±0.15
Активность СОХ	54.9±0.9	50.1±0.3
Скорость дыхания (в присутствии малата+глутамата), состояние 3	17.3±0.1	13.1±0.5*
Скорость дыхания (в присутствии сукцината+глутамата), состояние 3	14.0±0.1	12.0±2.0
Доля АП от общего дыхания, %	21.2±1.7	38.6±4.0*
Содержание O <sub>2</sub> <sup>•-</sup>	0.42±0.04	0.35±0.05

Примечание. \* Отличие опыта (паракват) от контроля достоверно при  $p \leq 0.05$  (тест Стьюдента).

Таким образом, паракват вызывал нарушение работы основного цитохромного пути и индуцировал вовлечение альтернативного пути на уровне усиления экспрессии гена *АОХ1с* и активации АП в митохондриях и тканях. Это вызывало уменьшение степени сопряжения ЭТЦ, но стабилизировало про-/антиоксидантный баланс. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение взаимосвязи митохондриальных и клеточных систем, обеспечивающих поддержание окислительно-восстановительного баланса при усилении генерации АФК в клетке.

*Работа выполнена в рамках темы Государственных бюджетных НИОКТР, №122040600021-4.*

#### ЛИТЕРАТУРА

Грабельных О. И., Боровик О. А., Таусон Е. Л., Побежимова Т. П., Катыхиев А. И., Павловская Н. С., Королева Н. А., Любушкина И. В., Баймаков В. Ю., Попов В. Н., Боровский Г. Б., Войников В. К. Митохондриальные энерго рассеивающие системы (альтернативная оксидаза, разобщающие белки и «внешняя» NADH-дегидрогеназа) вовлечены в развитие морозоустойчивости проростков озимой пшеницы // Биохимия, 2014. Т. 79. С. 647–662.

Побежимова Т. П., Колесниченко А. В., Грабельных О. И. Методы изучения митохондрий растений. Полярография и электрофорез. Москва: ООО «НПК «ПРОМЭКОБЕЗОПАСНОСТЬ», 2004. 98 с.

Chaitanya K. S. K., Naithani S. C. Role of superoxide, lipid peroxidation and superoxide dismutase in membrane perturbation during loss of viability in seeds of *Shorea robusta* Gaertn. // New Phytol., 1994. V. 126. P. 623–627.

Garmash E. V., Grabelnych O. I., Velegzhaninov I. O., Borovik O. A., Dalke I. V., Voinikov V. K., Golovko T. K. Light regulation of AOX pathway during greening of etiolated wheat seedlings // J. Plant Physiol., 2015. V. 174. P. 75–84.

Vanlerberghe G. C., Dahal K., Alber N. A., Chadee A. Photosynthesis, respiration and growth: A carbon and energy balancing act for alternative oxidase // Mitochondrion, 2020. V. 52. P. 197–211.

## СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ В КЛЕТКАХ КРИОФИЛЬНЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *CHLOROMONAS RETICULATA* И *MYCHONASTES FRIGIDUS*

**В. С. Паршуков\***, **Е. Н. Тараканова\*\***, **О. В. Дымова\***, **И. В. Новаковская\***

\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар

Email: parshukov@ib.komisc.ru, dymovao@ib.komisc.ru, novakovskaya@ib.komisc.ru

\*\*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар  
Email: [tarakah.mor@gmail.com](mailto:tarakah.mor@gmail.com)

Микроводоросли (МВ) синтезируют и накапливают широкий спектр уникальных биологически активных веществ, в том числе высокоценных каротиноидов (Кар), таких как  $\beta$ -каротин ( $\beta$ -кар), астаксантин (Аст) и др. Интерес к получаемых из МВ Кар обусловлен рыночным спросом на натуральные красители. Кар МВ используются как кормовые добавки, в косметических и фармацевтических препаратах. Сейчас ведется поиск новых видов МВ, перспективных для использования в биотехнологии. Особый интерес представляют МВ, обитающие в экстремальных условиях (низкие температуры, частые периоды замораживания-оттаивания, высокий уровень освещенности и UV-радиации). Целью работы было изучить комплексное воздействие низкой положительной температуры и освещенности на состав и содержание Кар в клетках двух видов одноклеточных криофильных микроводорослей, представителей отдела Chlorophyta — *Chloromonas reticulata* и *Mychonastes frigidus*, обитающих на Приполярном Урале (ПУ). В качестве объектов использованы: штамм *Ch. reticulata* (SYКОА Ch-054-11), водоросль была выделена с поверхности снега на ПУ (N 65°13'45.5", E 60°13'19.4") (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» (N 65°12'48", E 60°16'04") (Patova et al., 2021).

Ранее нами был изучен пигментный состав зеленых вегетативных клеток *Ch. reticulata*, выращенных в биореакторе (ЗК), и красных клеток (клетки-цисты, КК), собранных с поверхности снега на ПУ (Паршуков и др., 2022). Наибольшая

концентрация Кар накапливалась в ЗК (до 1500 мкг/г сухой массы). В КК содержание Кар было ниже на 35%, и в них преобладал  $\beta$ -кар (до 90%). Пониженное содержание Кар в КК было обусловлено их частичным окислением во время транспортировки с места их обитания. Характеристика *Ch. reticulata* была дополнена изучением жирно-кислотного состава липидной фракции ЗК и КК. Определение состава жирных кислот (ЖК) проведено методом газовой хроматографии в ЦКП «Хроматография» ИБ Коми НЦ УрО РАН. В ЖК-спектре экстракта ЗК преобладали из насыщенных ЖК: пальмитиновая (16:0) – 32%, из ненасыщенных: олеиновая (18:1) – 22%, линолевая (18:2) и линоленовая кислоты – до 40%. ЖК-спектр экстракта КК отличался накоплением ненасыщенных ЖК: олеиновой (18:1), линолевой (18:2) и линоленовой (18:3) – 36%. Для рода *Chloropyta* характерно высокое содержание ненасыщенных ЖК. Линоленовая (18:3) наряду с линолевой (18:2) являются незаменимыми ЖК, их получают только из пищи. Наличие этих ненасыщенных ЖК, особенно в КК, важно для биотехнологических целей с применением в фармацевтической и пищевой отраслях. Снежные водоросли также служат питанием для адаптированных к холоду организмов.

С культурой клеток *Ch. reticulata* и *M. frigidus* был проведен эксперимент: исходно клетки культивировали при комнатной температуре и освещенности 50 мкМоль/м<sup>2</sup>с; затем в течение месяца продолжали выращивать при +6 °С и 220 мкМоль/м<sup>2</sup>с, с постоянным поступлением углекислого газа. Подсчет клеток в суспензии МВ производили с помощью камеры Горяева. Хлорофиллы (Хл) и Кар определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ); пигменты экстрагировали с использованием ДМСО.

Число клеток *M. frigidus*, выращенных в холодных условиях, составило 201 млрд. в литре суспензии, что на два порядка выше, чем у *Ch. reticulata* в тех же условиях (табл. 1). Разница в числе обусловлена мелким размером клеток *M. frigidus* (в 4–5 раз меньше клеток *Ch. reticulata*). В условиях пониженной температуры при барботировании СО<sub>2</sub> содержание Хл в клетках обоих видов увеличивалось, что указывает на рост биомассы.

Таблица 1

Показатели роста клеток микроводорослей

Виды	Вариант	Число клеток, млрд клеток/литр	OD <sub>720/680</sub>	Хлорофиллы, мг/г сухой массы
<i>Mychonastes frigidus</i>	I	101 <sup>a</sup>	0.33	2.21±0.33 <sup>a</sup>
	II	201 <sup>b</sup>	0.28	5.49±0.28 <sup>b</sup>
<i>Chloromonas reticulata</i>	I	0.7 <sup>a</sup>	0.40	6.46±0.30 <sup>a</sup>
	II	1.3 <sup>b</sup>	0.35	17.55±0.21 <sup>b</sup>

Примечание. I – контроль, II – опыт. Разные надстрочные символы обозначают статистическую значимость изменений параметра (ANOVA, тест Дункана,  $P \leq 0.05$ ).

Хроматографический анализ показал, что в клетках *Ch. reticulata* в составе Кар были обнаружены  $\beta$ -кар и ксантофиллы: неоксантин (нео), виолаксантин (вио),

антраксантин (ант), лютеин (лют) и зеаксантин (zea). Также был идентифицирован пик вторичного Кар – Аст. По сравнению с *Ch. reticulata*, в клетках *M. frigidus* Аст не обнаружен (табл. 2). При комнатной температуре и слабой освещенности клетки *Ch. reticulata* содержали больше Кар, чем клетки *M. frigidus*. При понижении температуры наблюдали двукратное накопление Кар – у *Ch. reticulata* и четырехкратное – у *M. frigidus*.

Таблица 2

## Содержание каротиноидов в клетках микроводорослей, мкг/г сухой массы

Виды	Вариант	Нео-ксантин	Виола-ксантин	Аста-ксантин	Антра-ксантин	Лютеин	Зеа-ксантин	β-каротин	Сумма каротиноидов
<i>Mychonastes frigidus</i>	I	46±4 <sup>a</sup>	31±3 <sup>a</sup>	-	28±2 <sup>a</sup>	410±41 <sup>a</sup>	78±17 <sup>a</sup>	91±9 <sup>a</sup>	680±80 <sup>a</sup>
	II	176±13 <sup>b</sup>	94±5 <sup>b</sup>	-	90±7 <sup>b</sup>	1192±68 <sup>b</sup>	761±32 <sup>b</sup>	252±13 <sup>b</sup>	2570±130 <sup>b</sup>
<i>Chloromonas reticulata</i>	I	300±38 <sup>a</sup>	346±37 <sup>a</sup>	30±1 <sup>a</sup>	69±6 <sup>a</sup>	770±56 <sup>a</sup>	276±46 <sup>a</sup>	505±21 <sup>a</sup>	2296±190 <sup>a</sup>
	II	696±21 <sup>b</sup>	409±13 <sup>a</sup>	43±1 <sup>b</sup>	99±4 <sup>b</sup>	1898±42 <sup>b</sup>	447±29 <sup>b</sup>	664±2 <sup>b</sup>	4256±90 <sup>b</sup>

Примечание: I – контроль, II – опыт. Разные надстрочные символы обозначают статистическую значимость изменений параметра (ANOVA, тест Дункана,  $P \leq 0.05$ ). Прочерк означает отсутствие пигмента.

Таким образом, у криофильных водорослей при +6 °С и 220 мкМоль/м<sup>2</sup> с наблюдали рост биомассы, накопление Хл и Кар. Установлено, что вторичный Кар (Аст) синтезировался только в клетках *Ch. reticulata*. Накопление Кар при культивировании в условиях низкой температуры свидетельствует о защитной роли Кар в клетках криофильных видов МВ. В дальнейшем будет изучено воздействие UV-радиации на функциональные параметры клеток микроводорослей.

Финансирование исследований осуществлялось из средств федерального бюджета (№№122040600021-4 и 122040600026-9).

## ЛИТЕРАТУРА

Паршуков В. С., Новаковская И. В., Дымова О. В. Изменения пигментного состава зеленой микроводоросли *Chloromonas reticulata* при адаптации к освещенности и низкой температуре // Актуальные проблемы биологии и экологии: материалы докладов XXIX Всероссийской молодежной научной конференции, посвященной 60-летию Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (21–25 марта 2022 г., Сыктывкар). Том II. Сыктывкар, 2022. С. 191–193.

Novakovskaya I. V., Patova E. N., Boldina O. N., Patova A. D., Shadrin D. M. Molecular phylogenetic analyses, ecology and morphological characteristics of *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi which causes red blooming of snow in the Subpolar Urals // Cryptogamie, Algologie, 2018. V. 39. № 2. P. 199–213.

Patova E. N., Novakovskaya I. V., Martynenko N., Gusev E., Kulikovskiy M. *Mychonastes frigidus* sp. nov. (Sphaeropleales/Chlorophyceae), a new species described from a mountain stream in the Subpolar Urals (Russia) // Fottea, Olomouc, 2021. V. 21(1). P. 8–15.

## ВЛИЯНИЕ КРУГЛОСУТОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ С РАЗНЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ СВЕТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЗЕЛЕНИ СЕМЕЙСТВА *BRASSICACEAE*

**А. А. Рубаева, Е. Г. Шерудило, Т. Г. Шibaева**

Институт биологии — обособленное подразделение Федерального  
исследовательского центра «Карельский научный центр

Российской академии наук», Петрозаводск

E-mail: [arubaeva@krc.karelia.ru](mailto:arubaeva@krc.karelia.ru)

Микрозелень – это съедобные проростки овощных культур или трав с полностью развитыми семядолями в фазе появления первой пары настоящих листьев. Пищевая ценность таких растений значительно выше, чем взрослых в связи с высокой концентрацией в них антиоксидантов и микроэлементов. Помимо высокой продуктивности, критерием качества микрозелени как «функционального продукта» для здорового питания является пищевая ценность, определяемая, в том числе, содержанием веществ с антиоксидантными свойствами. В настоящее время производители выращивают микрозелень в теплицах и на фабриках растений с использованием искусственного освещения. Стоимость полученной в этом случае продукции прежде всего определяется затратами на электроэнергию, а поскольку цены на энергоносители во всем мире неуклонно растут, то необходим поиск надежных решений, направленных на повышение эффективности конвертирования электроэнергии в урожай и его качество. Одним из возможных способов повышения эффективности производства продукции на фабриках растений является перераспределение интеграла дневного освещения во времени, а именно, использование длинных фотопериодов, включая круглосуточное освещение (КО) с более низкой интенсивностью освещения. Хотя флуоресцентные лампы (FLU) изначально использовались в качестве стандартного источника света в многоярусных вертикальных системах выращивания растений, сейчас производители все чаще используют светодиодные (LED) светильники благодаря их многочисленным преимуществам. С появлением LED осветительных приборов и программируемых систем управления, время и интенсивность освещения можно контролировать более точно, чем прежде. Однако вопрос выбора оптимальных условий освещения для выращивания разных видов растений еще далек от решения.

Целью настоящего исследования было изучить влияние круглосуточного освещения и спектрального состава света (FLU и LED) на продуктивность и содержание веществ с антиоксидантными свойствами у микрозелени семейства *Brassicaceae*.

Объектами исследования служили четыре вида растений – брокколи (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck), мизуна (*Brassica rapa* ssp. *nipposinica* (L.H.Bailey) Hanelt), редис (*Raphanus sativus* var. *radicula* Pers.) и рукола (*Eruca sativa* Mill.). Рас-



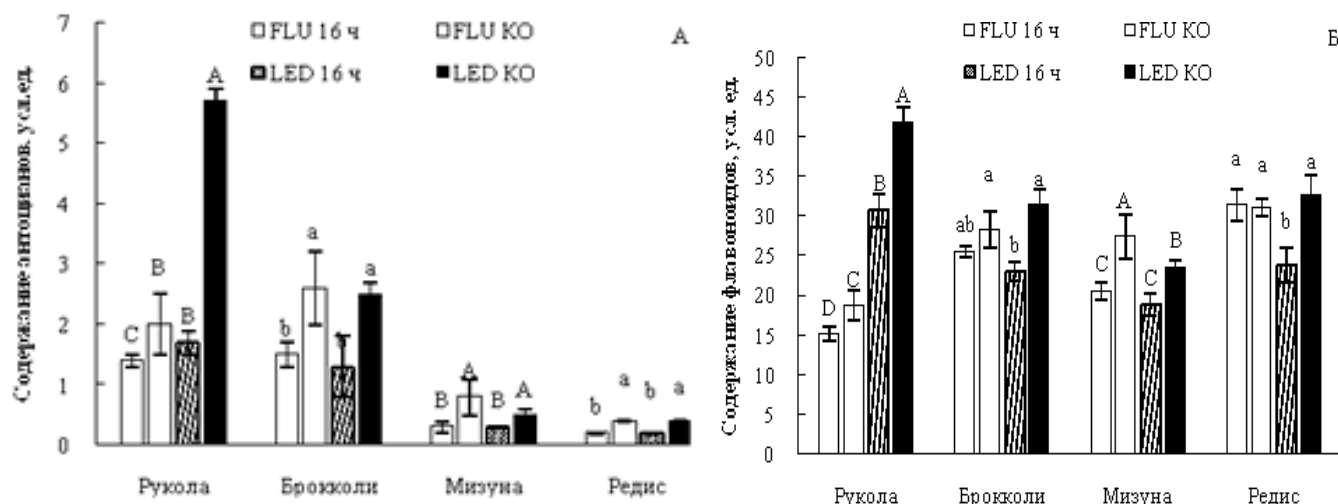
тения выращивали на ковриках из кокосового субстрата в контролируемых условиях среды. Средняя температура воздуха и его относительная влажность составляли  $22 \pm 1$  °C и  $60 \pm 5\%$ , соответственно. Полив осуществляли 50% питательным раствором Хогланда-Арнона (pH – 6.2–6.4). Условия освещения обеспечивали флуоресцентными (FLU) (F36W/T8 BRITEGRO, Sylvania, Германия) и светодиодными (LED) светильниками (LED GL V300, Китай), при фотопериодах 16 ч или 24 ч (ФАР 270 мкмоль/(м<sup>2</sup> с). ИДО составлял 15.6 и 23.3 моль/(м<sup>2</sup>сут), соответственно.

Растения анализировали на 12 день после посева при появлении первых настоящих листьев. Измеряли длину гипокотыля, длину 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) определяли как отношение сухой массы побега, умноженной на диаметр гипокотыля, к длине гипокотыля. Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофилла *a* и *b*, каротиноидов), антоцианов, флавоноидов, пролина, малонового диальдегида (МДА), перекиси водорода, активность антиоксидантных ферментов (каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД), аскорбатпероксидазы (АПО) и гваякол-пероксидазы (ГвПО)) анализировали спектрофотометрически с помощью спектрофотометра СФ-2000 (Спектр, Россия).

Показано, что при выращивании растений в условиях 16 ч и 24 ч фотопериода с различным спектральным составом (FLU и LED) растения всех четырех видов при КО имели бóльшую сырую и сухую биомассу побегов, массу листа на единицу площади, более высокий индекс робастности. У всех исследованных видов также было отмечено ускорение развития, проявившееся в более раннем появлении первого настоящего листа, что предполагает более ранние сроки сбора урожая.

Повышенное содержание МДА и перекиси водорода в растениях, выращенных в условиях КО, свидетельствует том, что растения испытывают окислительный стресс и накапливают больше низкомолекулярных антиоксидантов. Активность антиоксидантных ферментов (СОД, КАТ, АПО, ГвПО) повышалась при воздействии КО в разной степени, но наиболее значительное увеличение было зарегистрировано для активности СОД при КО у растений брокколи и мизуны. Более высокое содержание пролина наблюдалось в растениях, выращенных в условиях КО, за исключением мизуны, выращенной при FLU освещении. Ни у одной из культур не наблюдалось признаков фотоповреждений листьев.

Кроме того, независимо от спектрального состава света КО увеличивало соотношение хлорофиллов *a/b* и каротиноидов к хлорофиллам у всех видов за исключением мизуны. В условиях КО содержание антоцианов и флавоноидов в микрозелени было выше, за исключением растений редиса, выращенного в условиях FLU КО. Наиболее высокое содержание антоцианов и флавоноидов в руколе и брокколи выявлено у растений, выращенных в условиях LED КО (рис.).



Содержание антоцианов (А) и флавоноидов (Б) в микрозелени руколы, брокколи, мизуны и редиса, выращенной при 16-часовом фотопериоде и КО флуоресцентными (FLU) и светодиодными светильниками (LED).

На основе полученных результатов можно заключить, что в условиях КО растения имели более высокую продуктивность по сравнению с 16-часовым фотопериодом и, подвергаясь умеренному окислительному стрессу, накапливали больше антиоксидантов (каротиноидов, антоцианов, флавоноидов и пролина). В большинстве случаев эффекты были более выражены при светодиодном освещении, по сравнению с флуоресцентным. Таким образом, выращивание микрозелени руколы, брокколи, мизуны и редиса в режиме круглосуточного освещения позволяет повысить продуктивность и содержание веществ с антиоксидантными свойствами, что увеличивает ценность микрозелени как «функционального продукта» для здорового питания.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-004) на научном оборудовании ЦКП ФИЦ «Карельский научный центр РАН».*

## **ВЛИЯНИЕ ГОРМОНАЛЬНЫХ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНОВ ФЕРМЕНТОВ РНК-ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЗАЩИТНОГО ОТВЕТА РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ ЗАСЕЛЕННЫХ ТЛЕЙ**

**С. Д. Румянцев, В. Ю. Алексеев, С. В. Веселова, И. В. Максимов**

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Уфа

E-mail: [Rumyantsev-Serg@mail.ru](mailto:Rumyantsev-Serg@mail.ru)

В настоящее время механизм РНК-интерференции (РНКи или РНК сайленсинг) рассматривают как важный регулятор перепрограммирования экспрессии генов в

иммунных реакциях растений (Huang et al., 2019). Белки DCL и AGO являются наиболее важными компонентами механизма РНКи в защите растений, поскольку микро РНК генерируются DCL и функционируют через AGO, подавляя гены-мишени (Huang et al., 2019). Было показано, что промоторы почти всех генов, кодирующих AGO, содержат мотивы, участвующие в связывании с фитогормонами (Alazem, Lin, 2020). А фитогормоны, как известно, имеют решающее значение в ответах на многочисленные биотические и абиотические стимулы, включая атаку насекомых-вредителей. Механизм РНК-интерференции в защите растений от насекомых-вредителей интенсивно изучается последние десять лет. При этом остается проблемой нехватка знаний о механизмах работы РНКи в клетках насекомых и растений при их взаимодействии. Целью данной работы было изучение влияния фитогормонов на экспрессию генов, кодирующих ферменты системы РНК-интерференции – AGO, DCL у растений мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при формировании защитного ответа к черемуховой тле *Rhopalosiphum padi* L., которая наносит значительный ущерб посевам пшеницы.

Объектом исследования были обыкновенная черемуховая тля (*Rhopalosiphum padi*) и средневосприимчивый к тле сорт мягкой яровой пшеницы *T. aestivum* – Салават Юлаев (СЮ). Эксперименты проводили на проростках пшеницы в контролируемых лабораторных условиях на светоплощадках. Растения за 24 часа до заселения тлей инкубировали в растворах фитогормонов: цитокининов (ЦК) (2.5 мкМ), абсцизовой кислоты (АБК) (2 мкМ) и опрыскивали этефоном (ЭТ) химическим предшественником этилена в концентрации 1.5 мМ. Плодовитость тлей подсчитывали через 6 дней после заселения насекомыми четырехсуточных всходов пшеницы как описано ранее (Румянцев и др., 2022). Анализ экспрессии генов *TaAGO4*, *TaAGO5* и *TaDCL2* проводили методом количественной ПЦР в режиме реального времени на приборе «iCycler iQ5 Real-Time PCR Detection System» («BioRad», США) с использованием интеркалирующего красителя SYBR Green I («Синтол», Россия) через 1, 3 и 6 суток после заселения растений тлей. Все эксперименты повторяли 3 раза и проводили в 3-х биологических и 3-х аналитических повторностях (общее n=9) в случае изучения экспрессии генов, а тесты на плодовитость тли включали в себя не менее 10 биологических повторов (общее n=30). В таблицах приведены средние арифметические значения и их доверительные интервалы, рассчитанные по стандартным ошибкам.

Наши результаты показали, что *R. padi* довольно хорошо размножалась на сорте СЮ (табл. 1). Обработка фитогормонами приводила к снижению плодовитости тли (табл. 1). Обработка ЦК приводила к небольшому снижению числа особей на растениях, всего на 19% (табл. 1). А обработка АБК или ЭТ приводила к снижению плодовитости более чем на 50% (табл. 1). Информации о роли этилена, АБК и ЦК в защите растений от тлей очень мало, и она часто бывает противоречивой. Повышенные содержания этилена наблюдали как у восприимчивых, так и у устойчивых к тле

линий пшеницы. Роль АБК во взаимодействиях растений и насекомых до сих пор мало понятна, но последние данные показывают, что она необходима для развития устойчивости. Еще меньше известно о роли ЦК в защите растений от тлей. Было показано, что ЦК вызывают задержку развития и уменьшение массы тела у насекомых разных видов.

Таблица 1

**Плодовитость обыкновенной черемуховой тли *R. padi* на растениях пшеницы**

Варианты обработки	Время после заселения <i>R. padi</i> , 6 сутки
<i>R. padi</i>	68
Этефон + <i>R. padi</i>	35
Цитокинины + <i>R. padi</i>	55
АБК + <i>R. padi</i>	34

Ранее нами было показано, что AGO4 и DCL2 предположительно могут иметь решающее значение в регуляции защитного ответа на заселение *R. padi* (Румянцев и др., 2022). А AGO5 имеет решающее значение в регуляции ответа на заражение ячменной тлей *Diuraphis noxia* (Sibisi, Venter, 2020).

Кормление тлей на растениях индуцировало увеличение транскриптов гена *TaAGO4* в 4 и 5 раз через 1 и 3 суток после заселения по сравнению с контролем (табл. 2). Обработка растений гормонами положительно влияла на индукцию экспрессии гена *TaAGO4* у растений заселенных тлей (табл. 2). Однако ЦК влияли на раннем этапе заселения растений вредителем, повышая содержание транскриптов *TaAGO4* почти в 8 раз по сравнению с контролем уже через 1 сутки после начала кормления тлей (табл. 2). А ЭТ и АБК повышали экспрессию гена *TaAGO4* только через 6 суток кормления в 9 и 4 раза, соответственно (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние фитогормонов на экспрессию гена, кодирующего фермент РНК-интерференции *Ago4* у растений пшеницы, заселенных черемуховой тлей *R. padi***

Варианты обработки	Время после заселения <i>R. padi</i> , сутки		
	1	3	6
Контроль	1.0±0.02	1.0±0.21	1.0±0.4
<i>R. padi</i>	3.8±0.5	4.9±0.2	1.3±0.4
Этефон	1.2±0.15	2.8±0.3	1.2±0.5
Этефон + <i>R. padi</i>	0.6±0.04	2.6±0.2	8.7±0.8
Цитокинины	0.6±0.03	1.4±0.1	2.3±0.3
Цитокинины + <i>R. padi</i>	7.6±3.9	4.5±1	2.4±0.2
АБК	0.8±0.06	0.7±0.01	0.1±0.02
АБК + <i>R. padi</i>	0.2±0.01	2±0.2	3.9±0.6

Кормление тлей индуцировало небольшое транзитное увеличение транскриптов гена *TaAGO5* у растений средневосприимчивого сорта СЮ в 2.7 раз по

сравнению с контролем через 3 суток (табл. 3). Обработка ЦК повышала уровень транскриптов гена *TaAGO5* у растений заселенных тлей на раннем этапе кормления через 1 сутки в 4.5 раз и на позднем этапе через 6 суток в 1.7 раз (табл. 3). Обработка ЭТ на раннем этапе кормления через 1 сутки снижала экспрессию гена *TaAGO5* у растений заселенных тлей, а через 6 суток повышала содержание мРНК в 2.6 раз (табл. 3). Обработка АБК не влияла на экспрессию гена *TaAGO5* у растений заселенных тлей (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние фитогормонов на экспрессию гена, кодирующего фермент РНК-интерференции *Ago5* у растений пшеницы, заселенных черемуховой тлей *R. padi***

Варианты обработки	Время после заселения <i>R. padi</i> , сутки		
	1	3	6
Контроль	1±0.02	1±0.06	1±0.07
<i>R. padi</i>	1.4±0.03	2.7±0.3	1±0.7
Этефон	0.6±0.15	2.2±0.1	1.2±0.2
Этефон + <i>R. padi</i>	0.6±0.04	2.6±0.04	2.6±0.3
Цитокинины	1.1±0.08	1.3±0.1	1.5±0.1
Цитокинины + <i>R. padi</i>	4.5±0.2	3±0.1	1.7±0.3
АБК	1.4±0.2	1.5±0.04	0.5±0.1
АБК + <i>R. padi</i>	1.5±0.08	3±0.1	1±0.1

Уровень мРНК гена *TaDCL2* повышался в 2 раза по сравнению с контролем в растениях, заселенных тлей, через 3 суток кормления тли (табл. 4). Обработка ЭТ не влияла на экспрессию гена *TaDCL2* (табл. 4). Обработка ЦК и АБК повышали экспрессию гена *TaDCL2* при заселении растений тлей (табл. 4). Однако обработка ЦК повышала экспрессию этого гена на всех этапах кормления тлей на растениях, а АБК – только через 6 суток кормления тлей в 3 раза по сравнению с контролем (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние фитогормонов на экспрессию гена, кодирующего фермент РНК-интерференции *Dcl2* у растений пшеницы заселенных черемуховой тлей *R. padi***

Варианты обработки	Время после заселения <i>R. padi</i> , сутки		
	1	3	6
Контроль	1±0.01	1±0.06	1±0.1
<i>R. padi</i>	1.1±0.02	1.9±0.2	0.6±0.08
Этефон	0.4±0.04	1.7±0.04	0.7±0.01
Этефон + <i>R. padi</i>	0.4±0.05	1.7±0.2	1±0.04
Цитокинины	0.5±0.04	0.5±0.04	2.7±0.2
Цитокинины + <i>R. padi</i>	1.6±0.08	2.8±0.1	3.2±0.03
АБК	0.6±0.01	0.7±0.07	0.2±0.03
АБК + <i>R. padi</i>	0.5±0.04	2.2±0.1	3±0.3

Таким образом, обработка ЦК повышала экспрессию трех генов *TaAGO4*, *TaAGO5* и *TaDCL2*, особенно на раннем этапе кормления тлей, в отличие от обработок АБК и ЭТ, которые влияли на более позднем этапе кормления через 6 суток. Обработка АБК положительно влияла на экспрессию *TaAGO4* и *TaDCL2*, а обработка ЭТ – на экспрессию *TaAGO4* и *TaAGO5*, что в обоих случаях сопровождалось снижением плодовитости тли на 50%. Наши данные совпадают с литературными данными о влиянии этилена и АБК на экспрессию генов AGO и DCL (Alazem, Lin, 2019).

#### ЛИТЕРАТУРА

Румянцев С. Д., Алексеев В. Ю., Веселова С. В., Максимов И. В. Роль генов *RDR*, *AGO*, *DCL* системы РНК-интерференции в формировании защитного ответа растений пшеницы к обыкновенной черемуховой тле *Rhopalosiphum padi* L. // *Biomics.*, 2022. Т. 14(3). С. 1. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2022-16

Alazem M., Lin N.-S. Interplay between ABA signaling and RNA silencing in plant viral resistance // *Curr. Opin. Virol.*, 2020. 42. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.coviro.2020.02.002

Huang Ch.-Y., Wang H., Hu P., Hamby R., Jin H. Small RNAs - big players in plant-microbe interactions // *Cell Host Microbe.*, 2019. V. 26. P. 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2019.07.021>

Sibisi P., Venter E. Wheat argonaute 5 functions in aphid–plant interaction // *Front. Plant Sci.*, 2020. V. 11. P. 641. DOI: 10.3389/fpls.2020.00641

### ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ПРОВОДЯЩЕЙ ФЛОЭМЫ *PINUS SYLVESTRIS* L. В РАЗНЫХ ТИПАХ ЛЕСА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

**А. А. Серкова, Т. В. Тарелкина, Н. А. Галибина, С. А. Мошников,  
Д. С. Иванова, Л. И. Семенова**

Институт леса – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск

E-mail: [aserkova@krc.karelia.ru](mailto:aserkova@krc.karelia.ru)

Образование проводящих тканей ствола древесных растений (ксилемы и флоэмы) происходит в результате деятельности камбия – основной латеральной меристемы ствола. Важную роль в регуляции камбиальной активности играет обеспеченность клеток камбиальной зоны фотоассимилятами, поступающими по флоэме (Судаchkova, 1977). Анализ опубликованных в литературе сведений показал, что структурно-функциональные особенности проводящей флоэмы у древесных растений в разных условиях произрастания изучены недостаточно.

Исследование проводилось в заповеднике «Кивач» (Республика Карелия). Было подобрано 4 пробных площади в 3 разных типах леса (сосняк лишайниковый, брусничный и черничный). В каждом типе леса было выбрано по 5 модельных деревьев одного возраста (70–80 лет). Все деревья имели хорошо развитую крону и не имели видимых повреждений. 22–24 июня 2021 года в период активного камбиального роста были отобраны образцы коры. Отбор образцов проводили из глубоких высечек высотой 1 см и шириной 1 см на высоте 1.5 м. Образцы, отобранные на 2 пробных площадях в сосняках брусничных, были объединены в одну выборку.

Фиксацию образцов и изготовление поперечных срезов тканей проводили по общепринятым методикам. Измерения количественных показателей на микрофотографиях проводили с использованием программы ImageJ. Проводимость ( $m^4 / Pa \cdot s$ ) ситовидных клеток с утолщенными и неутолщенными оболочками рассчитывали по формуле Хагена–Пуазёйля (Thompson, Holbrook, 2003; Bel van, Hafke, 2005):

$$k = f \cdot \pi \cdot D^4 / (128 \cdot \eta),$$

где  $k$  – проводимость одной ситовидной клетки;

$f$  – понижающий коэффициент, введенный для учета гидравлического сопротивления току жидкости, возникающего при прохождении флоэмного экссудата через ситовидные поры;

$D$  – усредненный гидравлический диаметр ситовидной клетки;

$\eta$  – вязкость флоэмного экссудата (мПа с).

Значение  $\eta$  рассчитывали по формуле (Jensen et al., 2013):

$$\eta = \eta_w \cdot \exp[0.032c - (0.012c)^2 + (0.023c)^3],$$

где  $\eta_w$  – вязкость чистой воды (1.0019 мПа с);

$c$  – концентрация растворимых сахаров во флоэмном экссудате. Для расчетов использовали значение  $c = 11.5$ , опубликованное для *P. sylvestris* (Jensen et al., 2013).

Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Statistica.

Микроскопический анализ отобранных образцов показал, что ширина проводящей флоэмы в сосняке лишайниковом (СЛ), брусничном (СБ) и черничном (СЧ) составила 351.4, 283.7, 276.8 мкм соответственно. Деревья в СЛ по этому показателю достоверно отличались от деревьев в СБ и СЧ. Число ситовидных клеток в радиальном ряду проводящей флоэмы составило 14.2, 11.9, 11.8 (для деревьев в СЛ, СБ и СЧ соответственно).

У сосны обыкновенной некоторые ситовидные клетки могут иметь утолщенные (перламутровые) оболочки (Новицкая и др., 1999). У всех деревьев доля ситовидных клеток с утолщенными оболочками составляла 10–77% от общего числа ситовидных клеток. Утолщенные оболочки у сосен в СЛ, СБ и СЧ были в 2.4, 2.4 и 2.2 раза шире, что привело к уменьшению площади просвета ситовидных клеток на 35%, 10% и 10% соответственно. Усредненный гидравлический диаметр ситовидных клеток с

утолщенными оболочками составил 23.3, 23.8, 24.9 мкм для деревьев в СЛ, СБ, СЧ соответственно. В то время как этот показатель для ситовидных клеток без утолщений был 26.5, 25.2, 26.7 мкм для деревьев в СЛ, СБ, СЧ соответственно.

На основании приведенных параметров мы вычислили суммарную теоретическую проводимость флоэмы на высоте 1.5 метра у деревьев, произрастающих в трех типах леса. Этот показатель был вычислен с учетом присутствия в проводящей флоэме ситовидных клеток с утолщенными оболочками. Мы также вычислили для каждого типа леса «идеальную» суммарную теоретическую проводимость флоэмы без учета ситовидных клеток с утолщенными оболочками, чтобы оценить, как эта анатомическая характеристика влияет на проводимость флоэмы. Достоверные различия между двумя показателями были выявлены только для деревьев, произраставших в СЛ. В этом типе леса проводимость, вычисленная с учетом присутствия утолщений в оболочках ситовидных клеток, была на 24.6 % ниже по сравнению с «идеальной» проводимостью.

Суммарная проводимость флоэмы на высоте 1.5 м была значительно ниже у деревьев в СБ по сравнению с деревьями из двух других типов леса. Этот факт, по-видимому, объясняется тем, что в СБ модельные деревья имели меньшие диаметры ствола и, соответственно, меньшую площадь проводящей флоэмы и меньшее число ситовидных клеток. Однако проводимость флоэмы всего дерева (с учетом высоты дерева) в СЛ была в 1.91 и в 2.49 раз выше по сравнению с деревьями, произраставшими в СЧ и в СБ, соответственно.

Высказана гипотеза, что более высокая проводимость флоэмы в СЛ, вероятно, отражает повышенный запрос на ассимилянты со стороны корневой системы в условиях произрастания на бедных и сухих почвах, типичных для этого типа леса (Kiorapostolou et al., 2020; Joseph et al., 2020).

*Исследование выполнялось в рамках Государственного задания Института леса КарНЦ РАН «Комплексное исследование факторов продуктивности таежных лесов» и проекта «Оценка пулов и потоков углерода в наземных и водных экосистемах Северо-Запада России» (FMEN-2022-0036).*

#### ЛИТЕРАТУРА

- Новицкая Л. Л., Житкова Е. А., Бумагина З. Д. Ультраструктура оболочек ситовидных элементов сосны, ели и березы // Ботанический журнал, 1999. Т. 84. № 5. С. 20–30.
- Судацкова Н. Е. Метаболизм хвойных и формирование древесины. Новосибирск, 1977. 230 с.
- Bel A. J. E. van, Hafke J. B. Physiochemical Determinants of Phloem Transport // Vascular Transport in Plants. Elsevier, 2005. С. 19-44.
- Jensen K. H., Savage J. A., Holbrook N. M. Optimal concentration for sugar transport in plants // J. R. Soc. Interface, 2013. V. 10. № 83. P. 20130055.
- Joseph J., Gao D., Backes .B, Bloch C., Brunner I., Gleixner G., Haeni M., Hartmann H., Hoch G., Hug C., Kahmen A., Lehmann M. M., Li M. H., Luster J., Peter M., Poll C., Rigling A.,



Rissanen K. A., Ruehr N. K., Saurer M., Schaub M., Schönbeck L., Stern B., Thomas F. M., Werner R. A., Werner W., Wohlgemuth T., Hagedorn F., Gessler A. Rhizosphere activity in an old-growth forest reacts rapidly to changes in soil moisture and shapes whole-tree carbon allocation // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 2020. V. 117. № 40. P. 24885–24892. DOI: 10.1073/pnas.2014084117. Epub 2020 Sep 21.

Kiorapostolou N., Camarero J. J., Carrer M., Sterck F., Brigita B., Sangüesa-Barreda G., Petit G. Scots pine trees react to drought by increasing xylem and phloem conductivities // Tree Physiology, 2020. V. 40. № 6. P. 774–781.

Thompson M. V., Holbrook N. M. Application of a single-solute non-steady-state phloem model to the study of long-distance assimilate transport // Journal of Theoretical Biology, 2003. V. 220. № 4. P. 419–455.

## **РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* С НОКАУТОМ ГЕНА *VTC2* НА ДЕЙСТВИЕ ПОВЫШЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ**

**Е. В. Силина, М. В. Кырнышева, М. А. Шелякин, Е. В. Гармаш**

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения

Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: silina@ib.komisc.ru

Аскорбат – важный низкомолекулярный антиоксидант в растительной клетке. Его восстановленная форма напрямую взаимодействует со свободными радикалами, участвует в регенерации низкомолекулярных антиоксидантов, является кофактором виолаксантин дезоксидазы, а также выступает в качестве регулятора синтеза антоцианов. Основная функция аскорбата (Аск) связана с его участием в качестве субстрата для функционирования аскорбатпероксидазы (АПО) – важного антиоксидантного фермента, нейтрализующего  $H_2O_2$  до  $H_2O$  (Foyer, Noctor, 2011). Эта реакция является частью аскорбат-глутатионового цикла (АГЦ), в котором происходит регенерация окисленного Аск с участием глутатиона и дегидроаскорбатредуктазы (ДГАР). L-галактозный путь является основным путем синтеза Аск в растительных тканях, последний этап которого связан с электрон-транспортной цепью митохондрий (ЭТЦ), где L-галактоно-1,4-лактондегидрогеназа (ГЛДГ) передает электроны цитохрому *c* и превращает ГЛ в Аск. Вовлечение альтернативного пути транспорта электронов (АП) через альтернативную оксидазу способствует поддержанию пула цитохрома *c* в более окисленном состоянии и, соответственно, синтезу Asc (Bartoli et al., 2006). Ключевым звеном метаболизма, объединяющего все ферменты L-галактозного пути, является L-галактозофосфорилаза (ГГФ), активность которой в значительной степени определяет скорость синтеза Аск (Fenech et al., 2021).

Целью исследования было изучение роли L-галактозного пути синтеза аскорбата в проявлении активности ферментов аскорбат-глутатионового цикла, а также в

реакции ЭТЦ митохондрий на подавление синтеза аскорбата в растениях *Arabidopsis thaliana* с нокаутом *VTC2* – гена, кодирующего ГГФ.

Растения *Arabidopsis thaliana* (дикий тип Col-0 и *vtc2*) выращивали в почвенной культуре с этапом стратификации при освещенности 90 мкмоль/м<sup>2</sup> с. Через 4 недели растения подвергали воздействию умеренно сильного света интенсивностью 400 мкмоль/м<sup>2</sup> с в течение 8 часов. Дыхательную способность определяли по поглощению O<sub>2</sub>, активность АП дыхания – с использованием специфических ингибиторов (Garmash et al., 2022). Активность АПО, ДГАР, ГЛДГ и разных форм Аск анализировали с использованием спектрофотометрических методов (Nakano, Asada, 1981; Hossain, Kozi, 1984; Rodriguez et al., 2017; Kampfenkel et al., 1995).

В контрольных условиях интенсивность общего дыхания ( $V_t$ ) и максимальная активность цианидустойчивого альтернативного дыхания ( $R_{CN}$ ) в листьях линии *vtc2* характеризовались сравнимыми с растениями Col-0 величинами (табл.). После 8 ч экспозиции скорость  $V_t$  в линии *vtc2* не изменилась (в отличие от Col-0), однако величина  $R_{CN}$  и доля  $R_{CN}$  от  $V_t$  увеличивались. Это свидетельствовало о высокой чувствительности АП в растениях *vtc2* к действию света повышенной интенсивности, что можно расценивать как реакцию ЭТЦ, направленную на усиление синтеза Аск при его дефиците.

Действительно, содержание Аск в линии *vtc2* было существенно ниже, чем в Col-0 (табл.). При этом после 8 ч действия повышенной освещенности содержание Аск в листьях обеих линий (дикой и мутантной) существенно возрастало (табл.). Увеличению содержания Аск в *vtc2* могла способствовать активация ГЛДГ, что свидетельствовало о включении компенсаторных реакций на уровне функционирования L-галактозного пути. При этом активность ферментов АГЦ в листьях *vtc2* значительно снижалась после 8 ч экспозиции растений на «высоком свету», тогда как растения Col-0 реагировали усилением активности данных ферментов (табл.).

*Таблица*

**Влияние повышенной освещенности на дыхание (мкмоль O<sub>2</sub>/г сырой массы мин), содержание восстановленного аскорбата (мкмоль/г сырой массы) и активность ферментов его метаболизма (мкмоль субстрата/мг белка мин) в листьях *Arabidopsis thaliana* дикой и мутантной линии**

Параметр	Col-0		<i>vtc-2</i>	
	0 ч	8 ч	0 ч	8 ч
Общее дыхание	226±26 <sup>a</sup>	300±11 <sup>b</sup>	238±29 <sup>a</sup>	229±30 <sup>a</sup>
Активность АП	72±9 <sup>a</sup>	145±10 <sup>b</sup>	91±17 <sup>a</sup>	119±14 <sup>c</sup>
Аск	1.02±0.02 <sup>a</sup>	1.26±0.04 <sup>b</sup>	0.42±0.03 <sup>c</sup>	0.80±0.01 <sup>d</sup>
ГЛДГ	2.9±0.4 <sup>a</sup>	3.9±1.3 <sup>a</sup>	5.3±0.3 <sup>a</sup>	6.9±0.6 <sup>b</sup>
АПО	0.30±0.02 <sup>a</sup>	0.55±0.05 <sup>b</sup>	0.14±0.01 <sup>c</sup>	0.14±0.01 <sup>c</sup>
ДГАР	0.019±0.004 <sup>a</sup>	0.040±0.004 <sup>b</sup>	0.039±0.005 <sup>c</sup>	0.15 ±0.003 <sup>a</sup>

Примечание. Разница между вариантами (тест Дункана,  $p \leq 0.05$ ) обозначена разными надстрочными символами.

Таким образом, в растениях линии *vtc2* выявлено вовлечение АП в дыхание и активация ГЛДГ, что способствовало синтезу Аск и привело к увеличению его содержания после 8 ч действия повышенной освещенности. Однако растения линии *vtc2* реагировали на повышенную освещенность снижением активности ферментов АГЦ, что свидетельствовало об ослаблении способности Аск включаться в защитные реакции при его стабильном дефиците в тканях. Полученные данные свидетельствуют об участии АП в поддержании пула Аск и его роли как важного антиоксиданта.

*Работа поддержана проектом РНФ № 22-24-01082.*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Bartoli C. G., Gómez J., Fernández L., McIntosh L., Foyer C. H.* Inter-relationships between light and respiration in the control of ascorbic acid synthesis and accumulation in *Arabidopsis thaliana* leaves // *J. Exp. Bot.*, 2006. V. 57. P. 1621–1631.

*Fenech M., Amorim-Silva V., Esteban del Valle A., Arnaud D., Ruiz-Lopez N., Castillo A., Smirnoff N., Botella M.* The role of GDP-l-galactose phosphorylase in the control of ascorbate biosynthesis // *Plant Physiol.*, 2021. V. 185. №. 4. P. 1574–1594.

*Foyer C., Noctor G.* Ascorbate and glutathione: The heart of the redox hub // *Plant Physiol.*, 2011. V. 155. P.2–18.

*Garmash E. V., Dymova O. V., Silina E. V., Malyshev R. V., Belykh E. S., Shelyakin M. A., Velegzhaninov I. O.* AOX1a Expression in *Arabidopsis thaliana* Affects the State of Chloroplast Photoprotective Systems under Moderately High Light Conditions // *Plants*, 2022. V. 11. №. 22. P. 3030.

*Hossain M., Kozi A.* Purification of dehydroascorbate reductase from spinach and its characterization as a thiol enzyme // *Plant Cell Physiol.*, 1984. V. 25. P. 85–92.

*Kampfenkel K., Van Montagu M., Inzé D.* Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue // *Anal. Biochem.*, 1995. V. 225. P. 165–167.

*Nakano Y., Asada K.* Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts // *Plant Cell Physiol.*, 1981. V. 22. P. 867–880.

*Rodríguez-Ruiz M., Rosa M., Mateos R. M., Codesido V., Corpas F. J., Palma J. M.* Characterization of the galactono-1, 4-lactone dehydrogenase from pepper fruits and its modulation in the ascorbate biosynthesis. Role of nitric oxide // *Red. Biol.*, 2017. V. 12. P. 171–181.

*Smirnoff N.* Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals // *Free Radic. Biol. Med.*, 2018. V. 122. P. 116–129.

## ЭФФЕКТЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

**М. А. Сысолятина\***, **Е. В. Коваль\*\***

\*Вятский государственный университет, Киров

E-mail: [usr22523@vyatsu.ru](mailto:usr22523@vyatsu.ru)

\*\*Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень

E-mail: [undina2-10@yandex.ru](mailto:undina2-10@yandex.ru)

С развитием химической промышленности, поиском новых материалов и веществ проблема загрязнения окружающей среды не теряет своей актуальности. При этом происходит постоянное взаимодействие поллютантов и живых организмов, возникают специфические и неспецифические эффекты, ответные реакции последних на действие токсинов. При должном исследовании таких контактов можно найти новые методы, выявить чувствительные тест-объекты для оценки токсичности. Как организмы с высокими биоремедиационными и фитопротекторными возможностями (Коваль, Огородникова, 2023), широким спектром адаптаций к разным факторам (Домрачева и др., 2020) цианобактерии (ЦБ) представляют научный интерес в качестве биотестеров.

Так, в эпоху активной цифровой трансформации мирового сообщества и колоссального роста количества электронных устройств тревогу вызывает загрязнение окружающей среды редкоземельными элементами (РЗЭ). Источниками поступления РЗЭ могут стать места их добычи, добычи других металлов и неметаллов, места складирования электронных устройств (плат, ЭВМ, телефонов и др.) (Dang, Zhang, 2021). Известно, что гетеротрофные организмы чувствительны к некоторым РЗЭ (Lozhkina et al., 2022). При этом, регламенты содержания РЗЭ в окружающей среде не разработаны (Itoh et al., 2021), поэтому крайне актуальным является поиск биологических объектов, способных диагностировать загрязнение водных сред РЗЭ.

Целью нашей работы было оценить влияние малых концентраций лантана и церия на количество хлорофилла *a* и интенсивность процессов перекисного окисления липидов в клетках цианобактерий *Nostoc muscorum* Ag., *Nostoc paludosum* Kütz. и *Nostoc linckia* (Roth) Born. et Flah.

Моделировали загрязнение воды с помощью растворов  $\text{La}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  с концентрацией действующих ионов 0.0001 и 0.001 мг/л. Культуры ЦБ выращивали на жидкой среде Громова № 6 без азота при постоянном освещении и температуре. Возраст культур микроорганизмов – 5 недель. Эксперимент проводили в фазу экспоненциального роста ЦБ, что подтверждают данные о титре клеток (определяли методом прямого счета в камере Горяева): *N. linckia* –  $1.7 \cdot 10^7$  кл./мл, *N. paludosum* –  $1.2 \cdot 10^7$  кл./мл, *N. muscorum* –  $2.7 \cdot 10^7$  кл./мл.

Перед проведением опыта ЦБ гомогенизировали и выдерживали на растворах тестируемых солей в течение 24 часов. Контроль (0) – дистиллированная вода. Ток-

сичность модельных растворов оценивали спектрофотометрически по изменениям биохимических показателей ЦБ: содержанию хлорофилла *a* (Aminot, Rey, 2000) и интенсивности процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) (Лукаткин, 2002).

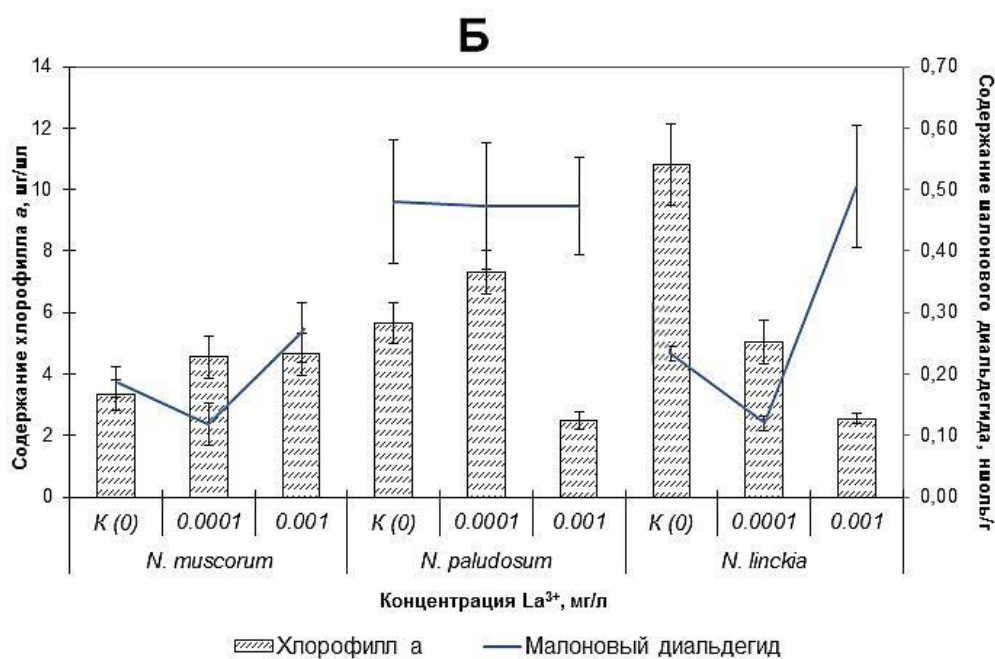
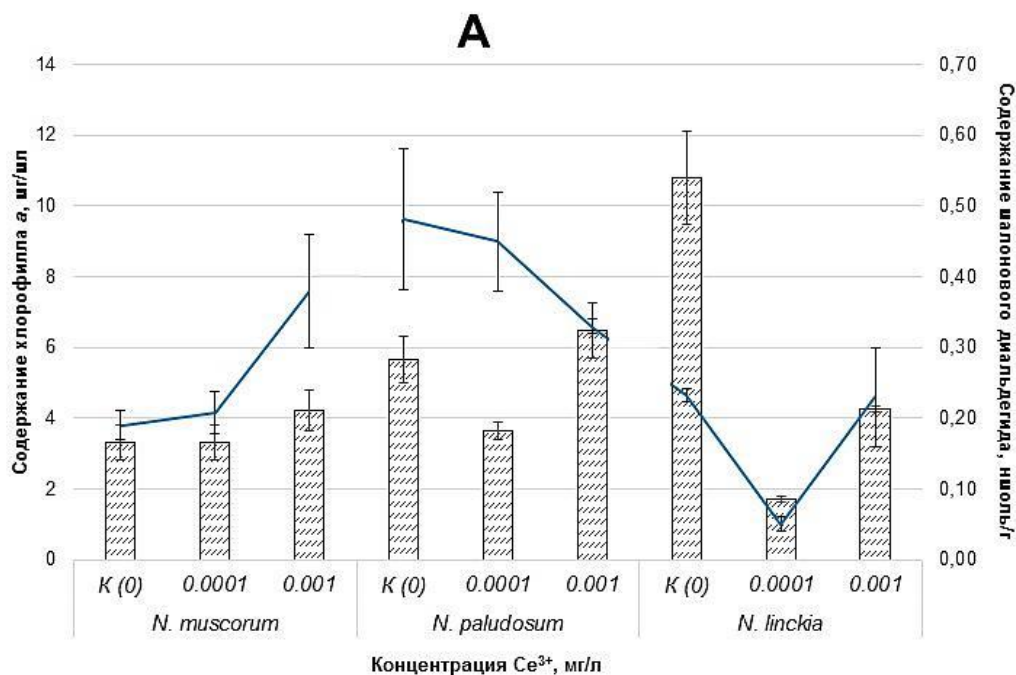
Было установлено, что цианобактерии по-разному реагировали на присутствие солей РЗЭ в среде обитания. В присутствии ионов  $\text{Ce}^{3+}$  (0.0001 мг/л) отмечали достоверное снижение содержания малонового альдегида (МДА) – маркера окислительных процессов, лишь в ЦБ *N. linckia* (рис. А). Интенсивность процессов ПОЛ в данном варианте снижалась на 79.5% от контроля. При этом повышение концентрации ионов  $\text{Ce}^{3+}$  до 0.001 мг/л возвращало количество МДА до уровня контроля. В клетках *N. paludosum* под действием  $\text{Ce}^{3+}$  (0.001 мг/л) отмечали снижение количества МДА на 31%, при этом *N. muscorum* была менее устойчива и реагировала на присутствие ионов двукратным повышением МДА в сравнении с контрольным уровнем, что говорит о развивающемся в ней окислительном стрессе.

Однако более информативным параметром, отражающим состояние фототрофных организмов, в сравнении с быстроменяющимся от условий МДА, выступает уровень хлорофилла *a*. Было отмечено, что под действием  $\text{Ce}^{3+}$  (0.0001 и 0.001 мг/л) происходило снижение зеленого пигмента в клетках *N. linckia* в 6.3 и 2.5 раза соответственно (рис. А). Также отмечали снижение хлорофилла *a* в 1.5 раза от контроля при действии  $\text{Ce}^{3+}$  в низкой концентрации в ЦБ *N. paludosum*. Такие парадоксальные эффекты могут быть характерны для действия низких доз веществ.

Было установлено, что соли La не вызывали изменения в содержании МДА для ЦБ *N. paludosum* (рис. Б). При этом для *N. muscorum* и *N. linckia* отмечали схожие эффекты активности процессов ПОЛ, однако более выраженные у *N. linckia*. Так, при действии  $\text{La}^{3+}$  (0.0001 мг/л) уровень МДА в данных ЦБ снижался на 36 и 48% от контроля у *N. muscorum* и *N. linckia* соответственно. При повышении концентрации  $\text{La}^{3+}$  ингибирование сменялось стимулированием, и интенсивность процессов ПОЛ в данных вариантах возрастала на 42% и 117% соответственно выше контроля.

Присутствие ионов  $\text{La}^{3+}$  никак не сказалось на уровне хлорофилла *a* в ЦБ *N. muscorum*. В свою очередь был зафиксирован рост содержания хлорофилла в клетках *N. paludosum* при действии  $\text{La}^{3+}$  (0.0001 мг/л) (рис. Б). Наибольшей чувствительностью отличалась ЦБ *N. linckia*, где под действием  $\text{La}^{3+}$  (0.0001 мг/л и 0.001 мг/л) содержание зеленого пигмента снижалось пропорционально концентрации токсиканта до 46.5% и 23.5% от уровня контроля.

Таким образом, в проведенном исследовании показано, что ЦБ *N. linckia* обладает повышенной чувствительностью к загрязнению водных сред редкоземельными металлами (Ce и La) по сравнению с *Nostoc muscorum* и *Nostoc paludosum*. Ценность использования *N. linckia* в качестве тест-организма заключается в реакциях на низкие дозы загрязнения – 0.0001 и 0.001 мг/л в расчете на ионы  $\text{Ce}^{3+}$  и  $\text{La}^{3+}$ .



Биохимические эффекты влияния лантана и церия на цианобактерии (А – эффекты  $Ce^{3+}$ ; Б – эффекты  $La^{3+}$ ).

### ЛИТЕРАТУРА

Домрачева Л. И., Зыкова Ю. Н., Трефилова Л. В., Ковина А. Л. Использование почвенных цианобактерий в агрономической практике // Инновационное развитие агропромышленного комплекса как фактор конкурентоспособности: проблемы, тенденции, перспективы. Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. С. 2239.

Коваль Е. В., Огородникова С. Ю. Обработка семян биопленками цианобактерий для повышения устойчивости растений в условиях химического загрязнения метилфосфонатами // Трансформация экосистем, 2023. Т. 6. № 1(19). С. 99107.

Лукаткин А. С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. 208 с.

Aminot A., Rey F. Standard procedure for the determination of chlorophyll *a* by spectroscopic methods // International Council for the Exploration of the Sea, 2000. №. 112. 25 p.

Dang D. H., Zhang Z. R. Hazardous motherboards: Changes in metal contamination related to the evolution of electronic technologies // Environmental pollution, 2021. V.268. B.P. 115731

Itoh A., Yaida A., Zhu Y. Potential Anthropogenic Pollution of High-technology Metals with a Focus on Rare Earth Elements in Environmental Water // Analytical sciences, 2021. V. 37. P. 131–143.

Lozhkina R. A., Olkova A. S., Koval E. V., Tomilina I. I., Sysolyatina M. A. Comparison of Sensitivity of Autotrophic and Heterotrophic Microorganisms to the Pollution of Natural Water with Rare Earth Elements (Lanthanum and Cerium) // Journal of Ecological Engineering, 2022. V. 23(4). P. 5863. DOI:10.12911/22998993/146330.

## **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕДИ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ *ТЫРНА LATIFOLIA* L**

**Г. И. Ширяев, Г. Г. Борисова, М. Г. Малева,  
О. С. Синенко, А. М. Дорофеев**

Уральский федеральный университет имени первого президента России

Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

E-mail: [schiriaev.grisha@yandex.ru](mailto:schiriaev.grisha@yandex.ru)

Тяжелые металлы (ТМ) – одни из наиболее опасных поллютантов, загрязнение которыми широко распространено в Уральском регионе. В связи с этим актуальным является поиск видов растений с высокой устойчивостью к металлам для использования в фиторемедиационных технологиях. Ранее нами были проведены исследования в Челябинской области, в окрестностях Карабашского медеплавильного комбината (Maleva et al., 2019). Был показан высокий уровень загрязнения этой территории металлами, в том числе и медью. Медь – эссенциальный элемент, однако в повышенных концентрациях она обладает высокой токсичностью (Mir et al., 2021). Несмотря на это, в прибрежной зоне водотоков обильно произрастали несколько видов растений, в особенности *Typha latifolia* (рогоз широколистный). Очевидно, что данный вид обладает высокой устойчивостью к загрязнению окружающей среды, что показано как в наших исследованиях, так и другими авторами (Maleva et al., 2019; Abbas et al., 2021).

Цель исследования: оценить устойчивость растений *T. latifolia*, выращенных из семян, отобранных вблизи медеплавильного комбината, к действию повышенных концентраций меди (2000 и 6000 мг/кг сухой почвы) и изучить влияние меди на морфофизиологические параметры растений.

Семенной материал рогоза отбирали с сильнозагрязненных участков. Пророщенные из семян растения выращивали в течение года, после чего переносили на субстрат, в который вносили сульфат меди (2000 мг/кг и 6000 мг/кг в расчете на  $\text{Cu}^{2+}$ ). Эксперимент проводили в течение 4 месяцев при фотопериоде 14/10 ч. Физиолого-биохимические показатели определяли спектрофотометрически. Скорость ассимиляции  $\text{CO}_2$  измеряли с использованием газового анализатора LI-6400XT.

При добавлении меди 2000 и 6000 мг/кг ее содержание в листьях рогоза было соответственно в 10 и 37 раз ниже, чем в корнях. В сравнении с контрольным вариантом, содержание меди при концентрации 6000 мг/кг увеличивалось в 83 раза в корнях и в 3 раза – в листьях. В итоге максимальное содержание меди в надземной биомассе составляло 38 мг/кг сухого веса, что незначительно превышало ее фитотоксичную концентрацию для растений. Все это говорит о развитых барьерных механизмах у рогоза.

Добавление 2000 мг меди /кг почвы стимулировало рост листьев в длину, при этом не влияло на биомассу рогоза. При концентрации меди 6000 мг/кг длина и ширина листьев, а также надземная и подземная биомасса существенно уменьшались (табл.).

Таблица

Морфологические показатели *T. latifolia* при добавлении меди

Параметр	Концентрация меди, мг/кг почвы		
	0	2000	6000
Длина листа, см	57.9±5.1	72.4±5.5	48.9±5.7
Ширина листа, мм	7.4±0.6	6.4±0.6	4.9±0.5
Надземная биомасса, г	7.3±1.8	7.4±1.1	4.5±0.6
Подземная биомасса, г	7.0±0.9	9.6±1.2	2.1±0.3

Известно, что избыточное количество металлов может инициировать генерацию активных форм кислорода (АФК). АФК вызывают окислительную деградацию липидов, основным продуктом которой является малоновый диальдегид (МДА). Исследование показало, что медь достоверного влияния на содержание МДА не оказывала. С данным фактом хорошо согласуются результаты изучения содержания фотосинтетических пигментов, количество которых при добавлении меди достоверно не изменялось (рис.). При этом происходила активизация процесса фотосинтеза: при добавлении 6000 мг меди на кг почвы скорость поглощения  $\text{CO}_2$  увеличивалась в 1.8 раза.





Физиолого-биохимические показатели *T. latifolia* при добавлении меди (0; 2000 мг/кг и 6000 мг/кг почвы)

Медь стимулировала накопление растворимых тиолов в листьях рогоза. Тиолы являются важными компонентами защиты растений, хелатируя ТМ и нейтрализуя АФК (Mir et al., 2021). При концентрации меди 2000 мг/кг увеличивалось содержание растворимых белковых тиолов (в 1.3 раза), а при 6000 мг/кг – повышалось содержание как белковых, так и небелковых тиолов (в 1.5 раза). Кроме того, при концентрации меди 6000 мг/кг в 1.8 раза увеличивалось содержание растворимых белков (рис.).

Антиоксидантные ферменты участвуют в снижении стресса, вызванного действием ТМ, путем тушения АФК. При добавлении меди активность каталазы и аскорбатпероксидазы снижалась, на активность гваяколпероксидазы медь не влияла.

Таким образом, семенное потомство растений *Typha latifolia*, изначально произраставших в условиях полиметаллического стресса, демонстрировало высокую устойчивость к повышенным концентрациям меди, что проявлялось в стабильности функционирования фотосинтетического аппарата при значительном накоплении этого металла в подземной биомассе. Отсутствие окислительного стресса при добавлении меди объясняется преимущественным ее накоплением в подземных органах, незначительной транслокацией  $\text{Cu}^{2+}$  в надземную биомассу, а также активизацией синтеза растворимых тиолов. Причиной снижения общей биомассы растений при добавлении меди могло быть ухудшение минерального питания, вызванное ее антагонистическим влиянием на поглощение других эссенциальных элементов и ингибированием роста корней. В целом можно сделать вывод о том, что данный гело-

фит является перспективным для использования в фиторемедиационных технологиях (таких как фитостабилизация и ризофилтрация).

#### ЛИТЕРАТУРА

*Abbas N., Butt M. T., Ahmad M. M., Deeba F., Hussain N.* Phytoremediation potential of *Typha latifolia* and water hyacinth for removal of heavy metals from industrial wastewater // *Chem. Int.*, 2021. V. 7. № 2. P. 103111.

*Mir A. R., Pichtel J., Hayat S.* Copper: uptake, toxicity and tolerance in plants and management of Cu-contaminated soil // *Biometals*, 2021. V. 34. № 4. P. 737759.

*Maleva M. G., Borisova G. G., Shiryayev G. I., Kumar A., Morozova M. V.* Adaptive potential of *Typha latifolia* L. under extreme technogenic pollution // *AIP Conf. Proc.*, 2019. V. 2063. P. 030013.

### РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* С ПОДАВЛЕННОЙ ЭКСПРЕССИЕЙ ГЕНА АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ОКСИДАЗЫ МИТОХОНДРИЙ *AOX1A* НА ПОВЫШЕННУЮ ОСВЕЩЕННОСТЬ

**К. В. Ядрихинский\*\* , Е. С. Белых\* , Е. В. Гармаш\***

\*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук, Сыктывкар

E-mail: [garmash@ib.komisc.ru](mailto:garmash@ib.komisc.ru)

\*\*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар

Электрон-транспортная цепь митохондрий растений содержит, помимо основного (цитохромного) пути транспорта электронов (ЦП), альтернативный путь (АП) через терминальную альтернативную оксидазу (АОХ). АОХ катализирует четырехэлектронное восстановление убухинолом кислорода до воды и устойчива к действию цианида (Vanlerberghe et al., 2020). Функция АП заключается в поддержании окислительно-восстановительного баланса в митохондриальной ЭТЦ за счет быстрого окисления НАДН и предотвращении генерации избыточного количества АФК.

Несмотря на значительный успех в изучении АП, актуальным остаются вопросы сигналинга, транскрипционного контроля экспрессии генов АОХ, координации вовлечения АП в системе защиты растительной клетки от стресса (Garmash, 2022). Изучение функциональной приуроченности гена и кодируемого им белка возможно с применением методов реверсивной генетики, позволяющей манипулировать экспрессией гена.

Геном *Arabidopsis thaliana* содержит четыре гена *AOX1(a-d)* и один *AOX2*. Ген *AOX1a* проявляет наибольшую среди других генов стресс-индуцированную чувствительность (Garmash, 2022). Линии *A. thaliana* с подавленной экспрессией гена

включают инсерционные и антисенсовые линии с конструкцией экспрессии трансгена. В антисенсовой линии AS-12 присутствует антисмысловая конструкция *AOX1a* (Umbach et al., 2005). У нокаутированных растений линии SALK\_084897 в гене есть вставки Т-ДНК во 2<sup>м</sup> интроне и 3<sup>м</sup> экзоне, что приводит к нарушению экспрессии гена (Strodtkötter et al., 2009).

Целью данной работы было изучить дыхание и провести профилирование экспрессии генов в растениях *Arabidopsis thaliana* линии SALK\_084897 (*aox1a*) с нарушением экспрессии *AOX1a* и сравнить выявленный эффект с реакцией линии AS-12. Ранее нами показано, что растения проявляют сильный компенсаторный эффект, связанный с усилением экспрессии генов и активности компонентов других нефосфорилирующих дыхательных путей и антиоксидантных ферментов (Garmash et al., 2021).

Растения выращивали в сосудах в почвенной культуре. 4-х недельные растения подвергали воздействию света повышенной интенсивности 400 мкмоль/м<sup>2</sup> с в течение 8 часов. Экспрессию генов определяли методом ОТ-ПЦР с разработанными праймерами, количество белка АОХ – методом вестерн-блоттинга с использованием коммерческих антител к АОХ. Содержание супероксидрадикала в тканях проростков определяли спектрофотометрически. Методы подробно описаны в работе (Garmash et al., 2021).

Линии с нокадауном (AS-12) и нокаутом (*aox1a*) реагировали на повышенную освещенность компенсаторным усилением экспрессии *AOX1d* и *AOX1c* соответственно. Это указывает на существование разных сигнальных путей, возникающих при соответствующих мутациях.

Иммуноферментный анализ в линии *aox1a* не выявил наличия белка АОХ1, что свидетельствовало об эффективности нокаута гена. В растениях AS-12 обнаружены следовые количества двух изоформ белка АОХ1 (Garmash et al., 2021), что, скорее всего, было следствием остаточного присутствия смысловой последовательности гена (Umbach et al., 2005).

На основе анализа экспрессии генов компонентов всех нефосфорилирующих дыхательных путей и антиоксидантных ферментов построены тепловые карты, в которых экспрессия гена выражена по отношению к содержанию их транскриптов в растениях *A. thaliana* дикого типа (Col-0) с «нормальным» уровнем экспрессией *AOX1a* (Garmash et al., 2021). Тепловые карты четко показали усиление экспрессии множества генов в антисенсовых растениях. Тогда как в линии *aox1a* обнаружено увеличение количества транскриптов лишь единичных генов (*AOX1c*, *APX*, *SAPX*, *GLDH*). Действительно, уровень супероксидного радикала в листьях линии *aox1a* был выше, чем в линии AS-12, и возрастал с увеличением экспозиции растений к высокому свету.

Таким образом, линия с нокаутом *AOX1a* характеризовалась усилением экспрессии *AOX1c* и отсутствием стресс-индуцибельной формы белка АОХ1. Слабый

компенсаторный эффект на уровне экспрессии генов других «защитных» систем и усиление окислительных процессов свидетельствовали о пониженной способности нокаутной линии, в сравнении с антисенсовой, противостоять стрессу. Полученные результаты могут быть использованы для изучения сигнальных путей регуляции экспрессии *AOX1a*.

*Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 22-24-01082.*

#### ЛИТЕРАТУРА

*Garmash E. V.* Suppression of mitochondrial alternative oxidase can result in upregulation of the ROS scavenging network: some possible mechanisms underlying the compensation effect // *Plant Biology*, 2022. V. 25. P. 4353. DOI:10.1111/plb.13477

*Garmash E. V., Belykh E. S., Velegzhaninov I. O.* The gene expression profiles of mitochondrial respiratory components in *Arabidopsis* plants with differing amounts of *ALTERNATIVE OXIDASE1a* under high intensity light // *Plant Signaling & Behavior*, 2021. V. 16 (3). P. e1864962. <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1864962>

*Strodtkötter I., Padmasree K., Dinakar C., Speth B., Niazi P. S., Wojtera J., Voss I., Do P. T., Nunes-Nesi A., Fernie A. R., Linkea V., Raghavendra A. S., Scheibe R.* Induction of the AOX1D isoform of alternative oxidase in *A. thaliana* T-DNA insertion lines lacking isoform AOX1A is insufficient to optimize photosynthesis when treated with antimycin A // *Molecular Plant*, 2009. V. 2. P. 284297.

*Umbach A. L., Fiorani F., Siedow J. N.* Characterization of transformed *Arabidopsis* with altered alternative oxidase levels and analysis of effects on reactive oxygen species in tissue // *Plant Physiology*, 2005. V. 139. P. 18061820.

*Vanlerberghe G. C., Dahal K., Alber N. A., Chadee A.* Photosynthesis, respiration and growth: A carbon and energy balancing act for alternative oxidase // *Mitochondrion*, 2020. V. 52. P. 197211.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Резолюция XXX всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии».....	4

### Секция 1 ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

<i>Андреев Б. Г.</i> Таксономический анализ флоры города Кемерово.....	7
<i>Атанова К. Ю., Аветисян Н. А.</i> Особенности региональной охраны редких видов растений на ООПТ Сергиевского района Самарской области.....	10
<i>Афошин Н. В., Тарелкина Т. В., Галибина Н. А., Мошников С. А., Иванова Д. С., Семёнова Л. И.</i> Изменчивость характеристик камбиальной зоны сосны обыкновенной по высоте ствола.....	14
<i>Байран А. Ю., Косолапов Д. А., Ефимова А. А.</i> Афиллофоровые грибы Костромской области. История изучения и перспективы исследования.....	16
<i>Васюта В. С., Дьячкова Т. Ю.</i> Биология <i>Verbascum nigrum</i> L. на северной границе ареала.....	19
<i>Захарова Н. В., Минеева Л. Ю.</i> Анализ урединальной микобиоты растений ботанического сада ИВГУ и парка КИО им. Революции 1905 г.....	21
<i>Зыкова П. С., Гончарова О. А.</i> Влияние некоторых климатических факторов на даты наступления вегетативных фенофаз у <i>Pinus sibirica</i> Du Tour в Полярно-Альпийском ботаническом саду-институте.....	24
<i>Ибрагимов Р. С.</i> Применение аэрокосмических снимков в лесопатологическом мониторинге заповедных лесов Крыма.....	26
<i>Калабина К. А., Андреев Б. Г.</i> Таксономическая структура флоры селитебных районов города Кемерово.....	30
<i>Ковшарева В. С., Серебрянская В. В.</i> Биоморфологическая структура флоры лишайников природного парка «Щербаковский».....	32
<i>Петров Р. С., Сони́на А. В., Шахнович М. М.</i> Ценопопуляционная структура эпилитного лишайника <i>Rhizocarpon geographicum</i> в условиях северной тайги (Мурманская область).....	36
<i>Топоева Е. А.</i> Синантропная флора села Аскиз (Республика Хакасия).....	40
<i>Филимонова Д. А., Воробьева И. Г.</i> Сведения о микобиоте дискомицетов особо охраняемой природной территории Центрального сибирского ботанического сада Сибирского отделения Российской академии наук.....	43
<i>Чочумакова А. В.</i> Систематическая структура флоры села Таштып (Республика Хакасия).....	45

---

**Секция 2**  
**ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА**  
**И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**  
**ЖИВОТНОГО МИРА**

<i>Ананьина А. В., Воробьева М. В.</i> Лесопатологическое обследование пихтовых лесов Байкальского заповедника с целью выявления Уссурийского полиграфа.....	49
<i>Глебов В. Э., Стрюкова Н. М.</i> Новые диагностические признаки вредителя запасов козявки мавританской <i>Tenebrioidea mauritanicus</i> L. (Coleoptera, Trogossitidae).....	52
<i>Демидова А. А., Русановская О. О.</i> Состояние зоопланктона в пелагиали Южного Байкала в 2018 г.....	55
<i>Ермолов С. А., Гераськина А. П.</i> Вариации вертикального распределения дождевых червей (Oligochaeta, Lumbricidae) в сосновых и березово-осиновых лесах Новосибирской области.....	58
<i>Колесникова А. Д., Судник С. А.</i> Особенности питания антарктического криля <i>Euphausia superba</i> (Dana, 1850) (Euphausiacea: Euphausiidae) из двух районов Южного океана в 2020 г.....	61
<i>Крюкова Л. А., Драган С. В.</i> Таксономическая структура фауны макробеспозвоночных в озере Солёное (Южно-Минусинская котловина).....	66
<i>Мастаков И. А.</i> Структура сообщества мшанок реки Вологды.....	
<i>Несен Л. Н., Мельник Т. Р., Петрякин А. С., Калиновская А. Г., Тюшкевич Ф. В.</i> Сезонная динамика активности <i>Vipera berus</i> в пределах верховых болот Тундринского материка.....	68
<i>Попова Е. И., Фефилова Е. Б., Велегжанинов И. О.</i> Результаты молекулярно-генетических исследований некоторых видов гарпактикоид (Harpacticoida, сорерода) озера Байкал.....	71
<i>Столярова И. А., Романова Е. Б., Бакиев А. Г., Горелов Р. А.</i> Оценка адаптивных реакций лейкоцитарной системы крови болотной черепахи ( <i>Emys orbicularis</i> ) (Reptilia: Emydidae).....	73
<i>Стрюкова Н. М., Глебов В. Э.</i> Особенности морфологии малого чёрного хрущака <i>Tribolium destructor</i> уytt. и близких к нему видов в связи с фитосанитарными требованиями стран-импортёров российского зерна.....	76
<i>Фатеева А. А.</i> Почвенные микроартроподы в первый и второй год после рубки ельника черничного.....	79

**Секция 3**  
**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ**  
**И АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ**

<i>Алексеева И. Е., Бессонова А. М.</i> Оценка рекреационной дигрессии природно-территориальных комплексов в районе Ялтинского горно-лесного заповедника.....	84
<i>Болотов М. И., Собко Е. И.</i> Зоопланктон как показатель состояния экосистемы озера Варваринское (Большой Соловецкий остров).....	88

<i>Вебер Н. Э., Груздев И. В., Скромная О. В.</i> Определение органических кислот в плодах разных видов рода <i>Sorbus</i> газохроматографическими методами.....	90
<i>Голубев М. А., Бакашкина А. С., Фефилова Е. Б., Батурина М. А.</i> Аквариумная фауна беспозвоночных как источник появления в водоёмах чужеродных видов.....	93
<i>Губина А. М., Паринова Т. А.</i> Продуктивность луговых угодий Кенозерского национального парка на территории Ведягино-Тырышкинского культурно-ландшафтного комплекса.....	95
<i>Гундерина Е. Д., Василевич Р. С.</i> Состав высоко- и низкомолекулярных соединений – маркеров трансформации отходов деревоперерабатывающей промышленности.....	98
<i>Данилова Е. А.</i> Оценка функционального состояния микробного сообщества почв с использованием метода мультисубстратного тестирования.....	101
<i>Довидович Е. Д., Неведров Н. П., Лукьянов В. А., Стрелков Р. Е.</i> Пространственно-временная изменчивость потоков CO <sub>2</sub> с поверхности агротемно-серых почв при их обработке микроводорослью <i>Chlorella sorokiniana</i> .....	103
<i>Ильинцев А. С.</i> Нарушение почвенного покрова при искусственном лесовосстановлении на северо-западе России.....	106
<i>Кучина Д. Д.</i> Разнообразие микроводорослей эпифитных сообществ высших растений урбанизированных территорий.....	108
<i>Минина Н. С., Смотрина Ю. А., Далькэ И. В., Захожий И. Г., Лаптева Е. М.</i> Каталазная активность постагрогенных почв под влиянием <i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden. (средняя тайга Республики Коми).....	110
<i>Пищимко О. И., Николаенко Ю. А.</i> Почвенный микробоценоз в условиях городской среды.....	114
<i>Плотникова К. А.</i> Зеленая инфраструктура города Воронеж.....	116
<i>Резниченко В. В.</i> Оценка антропогенной нагрузки на территории заказника «Параськины озёра».....	119
<i>Рябов Н. С., Исаева Л. Г.</i> Структура и состояние сосновых фитоценозов в природных и нарушенных экосистемах Мурманской области.....	123
<i>Скребенков Е. А., Кряжева Е. Ю., Лаптева Е. М.</i> Оценка содержания тяжелых металлов 1-го класса опасности в почвах города Ухта.....	126
<i>Шахтарова О. В., Холопов Ю. В., Денева С. В., Шалагина Н. В., Лаптева Е. М.</i> Подзолистые почвы экотона «средняя тайга – южная тайга».....	130

**Секция 4**  
**РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ, ГЕНЕТИКА.**  
**ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ**  
**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ НА ОРГАНИЗМ**

<i>Богданова А. М., Галенина Е. Ю., Пюрвеев О. А., Тихоненко П. А.</i> Влияние метеофакторов на показатели вариабельности сердечного ритма студентов (2022-2023 гг.).....	133
---	-----

Воронежская В. С., Подлуцкий М. С., Казакова Е. А., Шестерикова Е. М., Волкова П. Ю. Транскриптомный анализ растений <i>Vicia cracca</i> , произрастающих на территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС.....	136
Голубев Д. А., Платонова Е. Ю., Шапошников М. В., Москалев А. А. Влияние экстракта ягод барбариса обыкновенного ( <i>Berberis vulgaris</i> L.) на жизнеспособность <i>Drosophila melanogaster</i> .....	139
Горшколепова А. В., Улитко М. В. Влияние тканевого препарата «Бурсанал» на многофункциональные характеристики различных типов клеток млекопитающих..	142
Ермакова А. В., Велегжанинов И. О. Сравнение радиационно-индуцированной стимуляции пролиферации раковых и нормальных клеток человека.....	144
Ермакова А. В., Раскоша О. В., Старобор Н. Н., Башлыкова Л. А. Влияние лигнина на поведенческие реакции и репродуктивный потенциал мышей линии СВА.....	148
Земская Н. В., Пакишина Н. Р., Платонова Е. Ю., Голубев Д. А., Шапошников М. В., Москалев А. А. Эффекты экстракта ягод черноплодной рябины на продолжительность жизни, стрессоустойчивость и двигательную активность <i>D. virilis</i> и <i>D. Kikkawai</i> .....	150
Кинарейкина А. Г., Маслакова К. Ю., Янгирова Л. Я. Влияние сублетальных концентраций хлорфенапира на активность эстераз <i>Musca domestica</i> L.....	153
Кукумань Д. В., Земская Н. В., Уляшева Н. С., Яковлева Д. В., Пакишина Н. Р., Платонова Е. Ю., Голубев Д. А., Шапошников М. В., Москалев А. А. Влияние питательных сред на основе хлебных злаков на продолжительность жизни <i>Drosophila melanogaster</i> .....	155
Пакишина Н. Р., Яковлева Д. В., Уляшева Н. С., Прошкина Е. Н., Москалев А. А. Роль генов биогенеза малых РНК в эффектах активатора РНК-интерференции эноксацина на продолжительность жизни <i>Drosophila melanogaster</i> .....	158
Платонова Е. Ю., Земская Н. В., Шапошников М. В., Москалев А. А. Геропротекторные эффекты экстрактов ягод и листьев черноплодной рябины ( <i>Sorbaronia mitschurinii</i> ) у <i>Drosophila melanogaster</i> , зависят от возраста особей и длительности обработки.....	161
Расова Е. Е., Тавлеева М. М., Белых Е. С., Рыбак А. В., Черных А. А., Велегжанинов И. О. Гены GPX3 и SOD3 как перспективные мишени для регуляции клеточной устойчивости к окислительному стрессу.....	164
Рыбак А. В., Велегжанинов И. О., Белых Е. С. Изучение процесса образования и репарации радиационно-индуцированных сшивок ДНК-белок в культуре клеток НЕК293FT методом ДНК-комет.....	167
Санникова А. В., Шарипова М. Р., Шакиров Е. В., Валеева Л. Р. Исследование динамики длины теломер у мохообразных.....	170
Смирнова А. С., Битаршвили С. В., Пишенин И. А., Гераськин С. А. Оценка фитогормонального статуса сосен из Чернобыльской зоны отчуждения и Брянской области в условиях хронического облучения.....	172



Соколова А. К., Раскоша О. В. Изучение влияния малых доз ионизирующего излучения на уровень фрагментации ДНК в клетках щитовидной железы мышей...	176
Соловьёв И. А., Щеголева Е. В., Коваль Л. А., Шапошников М. В., Москалев А. А. Эволюционно-консервативные молекулярные механизмы продления жизни <i>Drosophila melanogaster</i> на примерах хроно- и термогормезиса.....	178
Стрижов Б. Б., Болотник Е. В., Антосюк О. Н. Протекторные свойства <i>Monarda fistulosa</i> L. и <i>Monarda fistulosa</i> var. <i>media</i> L на примере <i>Drosophila melanogaster</i> .....	181
Уляшева Н. С., Прошкина Е. Н., Шапошников М. В., Москалев А. А. Влияние веществ – эпигенетических регуляторов (эноксацина и трихостатина а) и берберина на продолжительность жизни и стрессоустойчивость <i>Drosophila melanogaster</i> .....	183
Шумилова П. А. Биологические параметры у устойчивых к фипронилу и хлорфенапиру линий <i>M. domestica</i> .....	187
Щурова Е. А., Чуешова Н. В. Морфофункциональное состояние гемопоэтических клеток в условиях длительного воздействия электромагнитного поля устройства Wi-Fi (2.45 ГГц) на организм при его старении.....	189

## Секция 5

### ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ

Андреева А. В., Паршуков В. С., Новаковская И. В., Дымова О. В. Содержание пигментов в клетках зеленых микроводорослей из сем. Scenedesmaceae.....	193
Атоян М. С. Сезонные изменения криорезистентности почек возобновления <i>Hylotelephium triphyllum</i> .....	196
Беренцева С. В. Анатомо-морфологические особенности листьев березы повислой и тополя черного, произрастающих в зоне влияния промышленного кластера на территории г. Челябинска.....	198
Блинова Я. А., Бабина Д. Д., Подлуцкий М. С., Подобед М. Ю., Празян А. А., Волкова П. Ю., Казакова Е. А. Влияние абиотических стрессовых факторов на флуоресценцию хлорофилла в листьях <i>Arabidopsis thaliana</i> чернобыльского экотипа.....	201
Гусманова Ю. Р., Бабынин Э. В. Синергизм новых галогенированных фуранонов с антибиотиками для штаммов с различным профилем антибиотикорезистентности..	204
Джапарова А. Г. Создание и выделение новых пестицидов с помощью бакуловирусной экспрессии.....	208
Елькина А. В., Чукина Н. В. Антиоксидантный статус орхидеи <i>Epipactis palustris</i> , произрастающей на зольных субстратах.....	210
Игнатенко А. А., Таланова В. В., Репкина Н. С., Тимов А. Ф. Протекторное действие метилжасмоната и салициловой кислоты на проростки огурца при гипотермии.....	213

Казакова Е. А., Битаршвили С. В., Волкова П. Ю. Реакция клевера белого и чистотела большого на хроническое радиационное воздействие: протеомный анализ.....	216
Климова В. Н., Чукина Н. В., Лукина Н. В. Содержание низкомолекулярных антиоксидантов в хвое посадок <i>Pinus sylvestris</i> L. на отвале после золотодобычи....	218
Kumar A., Tripti, Borisova G. G., Maleva M. G., Salata A. A. Bacterial biofertilizer for biofortification and enhancing biomass production of <i>Brassica napus</i> L.....	221
Майорова К. А., Шевченко А. Р., Аксенов А. С., Родичева М. А., Телицин В. Д. Ферментативная конверсия ксилана и целлюлозы волокнистых полуфабрикатов с использованием комплексных биокатализаторов.....	224
Мартынов В. В., Шубаков А. А. Использование кородревесных отходов в качестве субстрата для культивирования ксилотрофных базидиомицетов.....	227
Масенцова И. В. Внутривидовые особенности зимнего покоя представителей рода <i>Pinus</i> на примере различных климатипов, произрастающих в географических культурах.....	230
Никитин Д. А., Семенов М. В., Ксенофонтова Н. А., Тхакахова А. К., Русакова И. В., Лукин С. М. Влияние соломы на микробное сообщество агродерново-подзолистой почв.....	232
Нилова И. А., Репкина Н. С., Казнина Н. М. Влияние избытка цинка на антиоксидантную систему <i>Brassica juncea</i> и <i>Sinapis alba</i> .....	235
Нужная Т. В., Веселова С. В., Шейн М. Ю., Максимов И. В. Влияние фитогормонов на факторы вирулентности патогена <i>Stagonospora nodorum</i> и степень развития септориоза при инфицировании различных генотипов пшеницы..	238
Осипова Ю. Д., Ядрихинский К. В., Шелякин М. А., Силина Е. В., Гармаш Е. В. Активность митохондрий проростков пшеницы в условиях окислительного стресса (при действии прооксиданта параквата).....	241
Паришуков В. С., Тараканова Е. Н., Дымова О. В., Новаковская И. В. Содержание пигментов в клетках криофильных микроводорослей <i>Chloromonas Reticulata</i> и <i>Mychonastes frigidus</i> .....	244
Рубаева А. А., Шерудило Е. Г., Шибеева Т. Г. Влияние круглосуточного освещения с разным спектральным составом света на продуктивность и антиоксидантные свойства микрозелени семейства <i>Brassicaceae</i> .....	247
Румянцев С. Д., Алексеев В. Ю., Веселова С. В., Максимов И. В. Влияние гормональных сигнальных путей на экспрессию генов ферментов РНК-интерференции при формировании защитного ответа растений пшеницы заселенных тлей.....	249
Серкова А. А., Тарелкина Т. В., Галибина Н. А., Мошников С. А., Иванова Д. С., Семенова Л. И. Особенности строения проводящей флоэмы <i>Pinus sylvestris</i> L. в разных типах леса в условиях средней тайги (Республика Карелия).....	253
Силина Е. В., Кырнышева М. В., Шелякин М. А., Гармаш Е. В. Реакция растений <i>Arabidopsis Thaliana</i> с нокаутом гена <i>VTC2</i> на действие повышенной освещенности.....	256

---

<i>Сысолятина М. А., Коваль Е. В.</i> Эффекты редкоземельных элементов на биохимические параметры цианобактерий.....	259
<i>Ширяев Г. И., Борисова Г. Г., Малева М. Г., Синенко О. С., Дорофеев А. М.</i> Влияние различных концентраций меди на физиолого- биохимические параметры <i>Typha latifolia</i> L.....	262
<i>Ядрихинский К. В., Белых Е. С., Гармаш Е. В.</i> Реакция растений <i>Arabidopsis thaliana</i> с подавленной экспрессией гена альтернативной оксидазы митохондрий <i>АОХ1а</i> на повышенную освещенность.....	265

---

Научное издание

XXX Всероссийская молодежная научная конференция  
(с элементами научной школы)

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ»

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

Оригинал-макет и корректура: А. М. Вурдов

---

Издание электронное. DOI: 10.5281/zenodo.8406195