

XXVI
ВСЕРОССИЙСКАЯ
МОЛОДЕЖНАЯ
НАУЧНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
(с элементами
научной школы),
посвященная
75-летию
А.И. Таскаева

**АКТУАЛЬНЫЕ
ПРОБЛЕМЫ
БИОЛОГИИ
И ЭКОЛОГИИ**
(материалы докладов)

Сыктывкар 2019

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

XXVI Всероссийская молодежная
научная конференция
(с элементами научной школы)

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ**

посвященная 75-летию А.И. Таскаева

Материалы докладов

18–22 марта 2019 г.
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

Сыктывкар
ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
2019

УДК 574/577 (063)

ББК 28

А 43

055(02)7

Актуальные проблемы биологии и экологии : материалы докладов : XXVI Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы), посвященная 75-летию А.И. Таскаева : 18–22 марта 2019 г., Сыктывкар, Республика Коми, Россия / отв. редактор С. В. Дегтева. – Сыктывкар : ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2019. – 192 с.

Представлены материалы докладов XXVI Всероссийской молодежной научной конференции, проведенной Институтом биологии Коми НЦ УрО РАН. 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, генетики.

Редколлегия

Врио директора Института биологии С.В. Дегтева (отв. редактор)

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.г.н. Д.А. Каверин, к.б.н. О.И. Кулакова, к.б.н. Е.М. Лаптева, к.б.н. Е.Н. Патова, к.б.н. Б.Ю. Тетерюк, к.б.н. И.Ф. Чадин

ISBN 978-5-6042182-5-9

DOI: 10.31140/book-2019-05

© ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2019

ПРЕДИСЛОВИЕ

XXVI Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии» проходила в Институте биологии Коми НЦ УрО РАН с 18 по 22 марта 2019 г. Конференция была посвящена 75-летию Анатолия Ивановича Таскаева (директор Института биологии (1989–2010 гг.)). Именно «с легкой руки» Анатолия Ивановича и под его чутким руководством в 1993 г. в стенах Института биологии Коми НЦ прошла первая молодежная конференция, с его же помощью она стала ежегодной и в дальнейшем перешла в статус Всероссийской.

Конференция собрала сотрудников научных организаций и высших учебных заведений, аспирантов, студентов, участвующих в научно-исследовательской работе в области биологии и экологии. Основной целью конференции являлось создание условий для общения молодых и состоявшихся ученых, обмена опытом, поиска новых идей, предоставления начинающим исследователям возможности обсудить результаты своих научных исследований в кругу квалифицированных специалистов. Организатором конференции выступил Совет молодых ученых Института биологии Коми НЦ УрО РАН при поддержке администрации Института.

В работе конференции принял участие 131 человек. Наибольшим числом были представлены молодые ученые Института биологии, 15 – студенты и аспиранты вузов г. Сыктывкара. Остальные участники прибыли из других городов России и представляли Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН (г. Архангельск), Удмуртский государственный университет (г. Ижевск), Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН (г. Иркутск), Казанский (Приволжский) федеральный университет (г. Казань), Вятский государственный университет (г. Киров), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского НЦ РАН (г. Мурманск), Пермский государственный национальный исследовательский университет (г. Пермь), Национальный исследова-

тельский университет информационных технологий, механики и оптики (г. Санкт-Петербург).

Всего прозвучало 66 докладов, в том числе пять пленарных. В этом году большая часть докладов была посвящена освещению аспектов всестороннего изучения флоры и фауны арктических и бореальных зон, функционированию арктических и субарктических экосистем в условиях антропогенной трансформации и меняющегося климата. Конференция способствовала плодотворной работе научной молодежи, реализации ее творческого потенциала и зарождению новых идей, расширила кругозор молодых исследователей, познакомила их с последними достижениями в различных областях биологии и экологии, способствовала установлению новых связей и возможностей для сотрудничества.

В рамках конференции проведены четыре мастер-класса, в том числе выездной, в лесной массив в окрестности г. Сыктывкара. Также были проведены экскурсии на территорию АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» и в теплицы ОАО «Пригородный».

Благодаря рабочему и организационному комитетам, а также всем участникам, программа конференции была выполнена в полном объеме. Были отмечены актуальность обсуждаемых проблем и значимость полученных научных результатов. Также отмечен высокий уровень подготовки, организации и проведения конференции.

Организаторы выражают благодарность руководству Института биологии, АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» и ОАО «Пригородный» за всестороннюю помощь в реализации рабочей среды конференции и экскурсий. Благодарим пленарных докладчиков: Г.В. Матышака, Т.И. Марченко-Вагапову, О.Е. Валуйских, А.Ф. Осипова, Е.Н. Прошкину, а также ведущих мастер-классов Д.А. Каверина, Д.М. Шадрина, Е.В. Жангурова и А.Ю. Боровлева.

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

ПЛЕНАРНЫЙ ДОКЛАД

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ СТАРЕНИЯ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ НА МОДЕЛИ ПЛОДОВОЙ МУШКИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Е.Н. Прошкина, М.В. Шапошников, Л.А. Коваль, Е.В. Щеголева,
Н.В. Земская, И.А. Соловьев, А.А. Данилов, Д.О. Чернышова,
Е.А. Лашманова, А.А. Белый, А.А. Москалев
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kateplus@mail.ru

Старение представляет собой процесс постепенного угнетения основных функций организма, в результате которого он утрачивает способность противостоять повреждающим факторам, болезням и травмам. Следовательно, способность организма эффективно отвечать на воздействие факторов среды и физиологических стрессоров определяет темпы его старения наряду со стрессоустойчивостью. Молекулярно-генетические механизмы стресс-ответа лежат в основе регуляции продолжительности жизни организма. Их изучение, с одной стороны, проливает свет на природу и закономерности процесса старения, с другой – создает основу для разработки средств, направленных на продление жизни, адаптацию к условиям среды и борьбу с возрастными заболеваниями.

Для разработки геропротекторных и адаптогенных препаратов требуется поэтапно решить ряд задач: 1) выявить гены и молекулярные пути, отвечающие за долгожительство и повышенную стрессоустойчивость; 2) провести скрининг природных и синтетических веществ, способных стимулировать активность данных генов и молекулярных путей у молодых и старых животных; 3) оценить влияние отобранных веществ на продолжительность жизни и возрастные патологии у млекопитающих, изучить эффекты на культурах клеток человека; 4) провести клинические испытания и вывод отобранных веществ на рынок.

К настоящему моменту в лаборатории молекулярной радиобиологии и геронтологии отдела радиоэкологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН была проведена работа по двум первым

этапам. В частности, с использованием модели плодовой мушки *Drosophila melanogaster* проведена серия исследований, посвященная изучению роли генов ответа на повреждение ДНК и репарацию ДНК в регуляции продолжительности жизни и стрессоустойчивости организма, а также в формировании радиационного горемезиса и радиоадаптивного ответа (Plyusnina et al., 2011; Moskalev et al., 2011; Шилова и др., 2014; Shaposhnikov et al., 2015). Наиболее выраженный геропротекторный и адаптогенный эффект оказала сверхактивация гена *D-Gadd45* в нервной системе дрозофил (Plyusnina et al., 2011; Moskalev et al., 2012). У млекопитающих и человека присутствуют гены и белки семейства GADD45, которые связаны с сигнальными путями клетки, определяющими продолжительность жизни и возникновение возрастных заболеваний (Moskalev et al., 2015). Другим примером потенциальной мишени для геропротекторных вмешательств является ген *Gclc*, кодирующий каталитическую субъединицу центрального фермента синтеза глутатиона *de novo*. При его нейрон-специфичной сверхактивации показано увеличение продолжительности жизни, замедление возрастных нарушений двигательной активности и циркадных ритмов у дрозофилы. Транскриптомный анализ позволил выявить сигнальные пути и молекулярно-клеточные процессы, сопровождающие данный эффект (Moskalev et al., 2016, 2019).

Наиболее доступным способом стимулировать защитные системы организма и контролировать связанные со старением гены является применение фармакологических препаратов и природных соединений. В исследованиях, проводимых на *Drosophila melanogaster* и *Caenorhabditis elegans*, показано благоприятное действие на продолжительность жизни, физиологические показатели и устойчивость к различным видам стресса каротиноидов (фуккоксантина, бета-каротина) (Lashmanova et al., 2015) и флавоноидов (кверцетина, эпикатехина, нарингина, лютеолина, хризина) (Proshkina et al., 2016; Lashmanova et al., 2017). Эффекты данных веществ сопровождались стимуляцией механизмов стресс-ответа и их индуцибельности в ответ на окислительный стресс. Также показан пролонгирующий эффект нестероидных противовоспалительных препаратов и фармакологических веществ, ингибирующих связанные со старением сигнальные пути (IGF1, PI3K, TOR, iNOS, NF-κB) (Danilov et al., 2013, 2015; He et al., 2014). Данные препараты не только увеличивали продолжительность жизни мушек, но и влияли на их устойчивость к различным стрессорам. Например, для ибупрофена установлено радиопротекторное действие (Proshkina et al., 2016).

Таким образом, в настоящее время выявлен ряд потенциальных мишеней для воздействия на скорость старения организма и стимуляции систем стресс-ответа. Определено несколько групп природных соединений и фармакологических препаратов, оказывающих геропротекторное действие за счет их способности активировать системы клеточной защиты и подавлять связанные со старением сигнальные пути. Кроме того, в настоящее время проводится разработка исследований на мышах и культурах клеток человека для дальнейшей реализации полученных экспериментальных результатов на практике. Так, в совместной работе с коллегами из Института молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН и Initium-Pharm изучено влияние терпенов пихты сибирской (препарат Абисил) на транскриптомы нормальных и раковых клеток человека (Kudryavtseva et al., 2016).

Исследования выполнены в рамках государственного задания по темам «Молекулярно-генетические механизмы старения, продолжительности жизни и стрессоустойчивости *Drosophila melanogaster*» № АААА-А18-118011120004-5 и «Разработка геропротекторных и радиопротекторных препаратов» № АААА-А19-119021590022-2, а также по проекту комплексной программы УрО РАН № 18-7-4-23 «Комбинация факторов различной природы (пониженная температура, отсутствие освещения, ограничительная диета и воздействие геропротектора) для максимального увеличения продолжительности жизни особей рода *Drosophila*» № АААА-А18-118011120008-3.

ЛИТЕРАТУРА

Шилова Л.А. Роль генов репарации ДНК в радиационно-индуцированном изменении продолжительности жизни *Drosophila melanogaster* / Л.А. Шилова, Е.Н. Плюснина, Н.В. Земская, А.А. Москалев // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. – № 5. – С. 482–492.

Danilov A. Influence of non-steroidal anti-inflammatory drugs on *Drosophila melanogaster* longevity / A. Danilov, M. Shaposhnikov, O. Shevchenko et al. // Oncotarget. – 2015. – V. 6. – № 23. – P. 19428–19444.

Danilov A. Selective anticancer agents suppress aging in *Drosophila* / A. Danilov, M. Shaposhnikov, E. Plyusnina et al. // Oncotarget. – 2013. – V. 4. – № 9. – P. 1507–1526.

He C. Enhanced longevity by ibuprofen, conserved in multiple species, occurs in yeast through inhibition of tryptophan import / C. He, S.K. Tsuchiyama, Q.T. Nguyen et al. // PLoS Genetics. – 2014. – V. 10. – № 12. – P. e1004860.

Kudryavtseva A. Effects of *Abies sibirica* terpenes on cancer- and aging-associated pathways in human cells / A. Kudryavtseva, G. Krasnov, A. Lipatova et al. // Oncotarget. – 2016. – V. 7. – № 50. – P. 83744–83754.

Lashmanova E. Fucoxanthin increases lifespan of *Drosophila melanogaster* and *Caenorhabditis elegans* / E. Lashmanova, E. Proshkina, S. Zhikrivetskaya et al. // Pharmacol. Res. – 2015. – V. 100. – P. 228–241.

Lashmanova E. The evaluation of geroprotective effects of selected flavonoids in *Drosophila melanogaster* and *Caenorhabditis elegans* / E. Lashmanova, N. Zemskaya, E. Proshkina et al. // *Frontiers in Pharmacology*. – 2017. – V. 8. – P. 884.

Moskalev A. The influence of pro-longevity gene *Gclc* overexpression on the age-dependent changes in *Drosophila* transcriptome and biological functions / A. Moskalev, M. Shaposhnikov, E. Proshkina et al. // *BMC Genomics*. – 2016. – Vol. 17 (Suppl 14). – P. 1046.

Moskalev A. The neuronal overexpression of *Gclc* in *Drosophila melanogaster* induces life extension with longevity-associated transcriptomic changes in the thorax / A. Moskalev, Z. Guvatova, M. Shaposhnikov et al. // *Frontiers in Genetics*. – 2019.

Moskalev A. The role of *D-GADD45* in oxidative, thermal and genotoxic stress resistance / A. Moskalev, E. Plyusnina, M. Shaposhnikov et al. // *Cell Cycle*. – 2012. – Vol. 11. – № 22. – P. 4222–4241.

Moskalev A.A. Chapter 2. Gadd45 proteins in aging and longevity of mammals and *Drosophila* / A.A. Moskalev, E.N. Plyusnina, M.V. Shaposhnikov // *Life Extension. Lessons from Drosophila*. – Cham: Springer, 2015. – P. 39–65.

Moskalev A.A. Radiation hormesis and radioadaptive response in *Drosophila melanogaster* flies with different genetic backgrounds: the role of cellular stress-resistance mechanisms / A.A. Moskalev, E.N. Plyusnina, M.V. Shaposhnikov // *Biogerontology*. – 2011. – V. 12. – № 3. – P. 253–263.

Plyusnina E.N. Increase of *Drosophila melanogaster* lifespan due to *D-GADD45* overexpression in the nervous system / E.N. Plyusnina, M.V. Shaposhnikov, A.A. Moskalev // *Biogerontology*. – 2011. – V. 12. – № 3. – P. 211–226.

Proshkina E. Geroprotective and radioprotective activity of quercetin, (-)-epicatechin, and ibuprofen in *Drosophila melanogaster* / E. Proshkina, E. Lashmanova, E. Dobrovolskaya et al. // *Frontiers in Pharmacology*. – 2016. – V. 7. – P. 505.

Shaposhnikov M. Lifespan and stress resistance in *Drosophila* with overexpressed DNA repair genes / M. Shaposhnikov, E. Proshkina, L. Shilova et al. // *Scientific Reports*. – 2015. – V. 5. – P. 15299.

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

**АЛЬГОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ
В РАЙОНЕ ОБЪЕКТА ХРАНЕНИЯ И УНИЧТОЖЕНИЯ
ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ «МАРАДЫКОВСКИЙ»
ПОСЛЕ ПРЕКРАЩЕНИЯ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

К.А. Безденежных¹, Л.В. Кондакова^{1,2}

¹ Вятский государственный университет

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: karina.bezdenezhnykh@mail.ru

На объекте хранения и уничтожения химического оружия (ОХУХО) «Марадыковский» (Кировская область) в процессе его функционирования обеспечивался контроль за производственным процессом, осуществлялся экологический мониторинг состояния окружающей среды и здоровья населения. Основной задачей биомониторинга на объекте является оценка состояния и выявление отклика, тенденций изменения биологического компонента окружающей среды в ответ на техногенное воздействие в ходе уничтожения химического оружия (Ашихмина, 2002). Особое внимание уделялось биомониторингу состояния почвы – основного накопителя загрязняющих веществ. Одним из объектов биомониторинга являются водоросли и цианобактерии (ЦБ). Альгоиндикационная оценка почв района объекта после прекращения его функционирования актуальна для выявления его возможного воздействия на окружающую среду.

Цель работы – дать альгологическую оценку состояния почв лесных и луговых экосистем в районе объекта «Марадыковский» после прекращения его функционирования.

Для альгологических исследований были отобраны почвенные образцы на участках мониторинга лесных и луговых экосистем, расположенных на разном удалении от ОХУХО «Марады-

ковский». Отбор проб проводили в летне-осенний период с глубины 0–5 см объемом 125 см³. Средняя проба составлялась из пяти почвенных образцов. Видовой состав альгофлоры изучали постановкой чашечных культур со стеклами обрастания (Штина, Голлербах, 1976). Количественные показатели альгофлоры определяли прямым микроскопированием на мазках (Домрачева, 2005).

В результате проведенных альгологических исследований до начала функционирования объекта «Марадыковский» (Кондакова, 2012) в лесных экосистемах участков мониторинга был выявлен 71 вид водорослей и ЦБ, в том числе Cyanobacteria – 16 видов, Chlorophyta – 32, Ochrophyta – 15, Bacillariophyta – восемь. В луговых экосистемах было отмечено 123 вида почвенных водорослей и ЦБ, из них Cyanobacteria – 36 видов, Chlorophyta – 47, Ochrophyta – 27, Bacillariophyta – 12, Euglenophyta – один вид.

За период исследований, проведенных после прекращения функционирования объекта (2016–2018 гг.), в альгофлоре изученных фитоценозов выявлено 119 микрофототрофов, в том числе в почвах лесных экосистем отмечено 60 видов, в почвах луговых экосистем – 95. Состав альгофлоры лесных экосистем представлен четырьмя основными таксономическими группами: Cyanobacteria – четыре вида (6.7%), Chlorophyta – 36 видов (60.0%), Ochrophyta – 12 (20.0%), Bacillariophyta – восемь (13.3%). В луговых экосистемах Cyanobacteria составляли 28 видов (29.5%), Chlorophyta – 42 вида (44.2%), Ochrophyta – 16 (16.8%) и Bacillariophyta – девять (9.5%). На всех участках мониторинга по видовому составу доминировали зеленые водоросли.

Количественные показатели почвенной альгофлоры лесных и луговых экосистем представлены на рис. 1 и 2.

За период 2016–2018 гг. на участках лесных экосистем численность почвенных водорослей и ЦБ возрастала в контрольном варианте (№ 112) от 224.2 и до 296 тыс. кл./г почвы и варьировала по годам на участках мониторинга от 59.3 до 296 тыс. кл./г почвы, что, возможно, связано с уровнем антропогенной и техногенной нагрузки.

В почвах луговых экосистем общая численность почвенных водорослей и ЦБ изменялась в пределах от 71.6 до 513.6 тыс. кл./г почвы (рис. 2). В 2017 г. по сравнению с 2016 г. численность водорослей и ЦБ в большинстве луговых участков снизилась. Это, возможно, было связано с более мощным развитием травостоя в более влажном 2017 г. и оказало влияние на развитие микрофототрофов. В 2018 г. показатели численности водорослей и ЦБ возросли по сравнению с предыдущими годами. Более высокие пока-

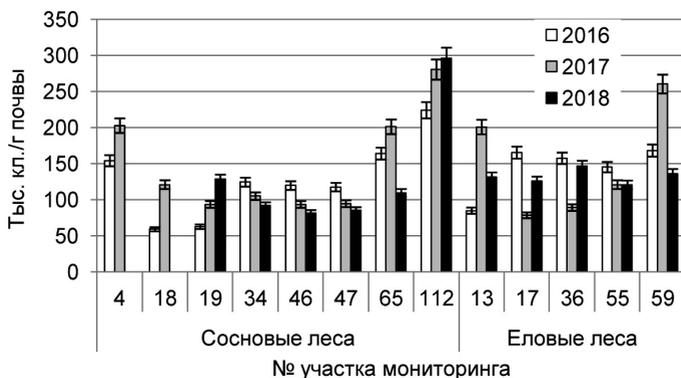


Рис. 1. Численность микрофототрофов лесных экосистем в районе ОХУХО «Марадыковский».

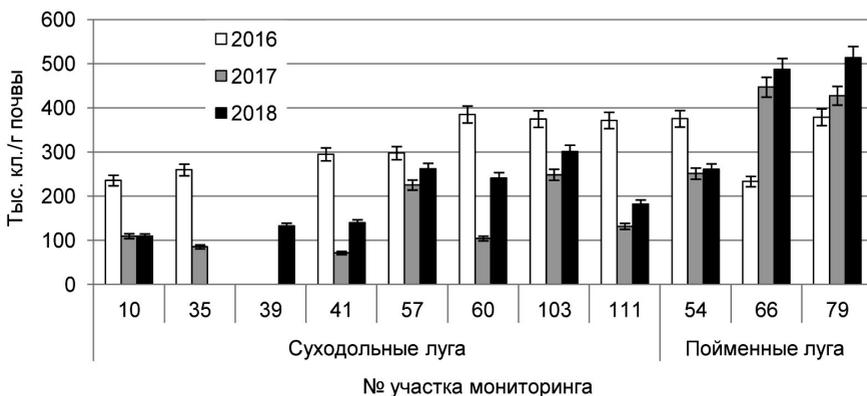


Рис. 2. Численность микрофототрофов луговых экосистем в районе ОХУХО «Марадыковский».

затели численности альгофлоры отмечены в пойменных луговых фитоценозах.

Таксономический состав альгофлоры лесных и луговых экосистем в районе объекта «Марадыковский» после завершения его функционирования не нарушен. По видовому разнообразию и численности доминируют зеленые водоросли, что характерно для почв лесной зоны. На участках мониторинга выявлено уменьшение видового разнообразия желтозеленых водорослей и ЦБ в сравнении с фоновыми показателями.

ЛИТЕРАТУРА

Ашихмина Т.Я. Комплексный экологический мониторинг объектов хранения и уничтожения химического оружия / Т.Я. Ашихмина. – Киров: ВГПУ, 2002. – 543 с.

Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития / Л.И. Домрачева. – Сыктывкар, 2005. – 336 с.

Кондакова Л.В. Альго-цианобактериальная флора и особенности ее развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв подзоны южной тайги европейской части России) / Л.В. Кондакова: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Сыктывкар, 2012. – 34 с.

Штина Э.А. Экология почвенных водорослей / Э.А. Штина, М.М. Голлербах. – М.: Наука, 1976. – 143 с.

**ОБЗОР ГЕНОСИСТЕМАТИКИ СЕМЕЙСТВА КАПУСТНЫЕ
(BRASSICACEAE) ФЛОРЫ РЕСПУБЛИКИ КОМИ
НА ОСНОВЕ СВЕДЕНИЙ ИЗ БАЗ ДАННЫХ (BOLD, NCBI)**

К.А. Коваленко¹, А.Д. Чикурова¹, О.Е. Валуйских², Д.М. Шадрин²

¹Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: valuyskikh@ib.komisc.ru

Семейство капустные (Brassicaceae) включает более 338 родов и около 3700 видов, распространенных по всему миру (Al-Shehbaz et al., 2006). На территории Республики Коми произрастает 68 видов из 32 родов этого семейства (Мартыненко, Груздев, 2008; неопубликованные данные В.А. Канева), из них в регионе охраняются 18 видов (Красная книга..., 2008).

Цель работы – анализ геносистематики представителей семейства Brassicaceae флоры Республики Коми на основе сведений, доступных в базах данных BOLD и NCBI. На основании литературных данных (Мартыненко, Дегтева, 2003; Мартыненко, Груздев, 2008; Цвелев, 2012; Флоры..., 2016 и др.) и материалов гербария Института биологии Коми НЦ УрО РАН составлен список видов семейства Brassicaceae, произрастающих в регионе. Уточняли названия видов, согласно современной номенклатуре (Черепанов, 1995; The Plant List, 2019). Проанализирована представленность маркерных последовательностей (*rbcL*, *matK*, *ITS2*, *trnH-psbA*) для всех видов в базах генетических данных BOLD systems (<http://www.boldsystems.org/>) и NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Для 68 видов растений сем. Brassicaceae флоры Республики Коми получены сведения, представленные в таблице. По гену *rbcL* в проанализированных базах данных присутствуют последовательности для 57 видов в NCBI и 55 видов в BOLD, по гену *matK* – для 52 видов в NCBI и 50 видов в BOLD. Эти хлоропластные маркеры

Представленность маркерных последовательностей видов сем. Brassicaceae флоры Республики Коми в базах генетических данных BOLD systems и NCBI

№	Название видов по С.К. Черепанову, 1995 / Название по The Plant List, 2019	Наличие последовательностей rbcL/matK/ITS2/ trnH- psbA в NCBI	Наличие последовательностей rbcL/matK/ITS2/ trnH- psbA в BOLD systems	Категория охраны в Красной книге Республики Коми (2009)
1	<i>Achoiphragma nudicaule</i> (L.) Sojak / <i>Parrya nudicaulis</i> (L.) Boiss.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	3
2	<i>Alyssum obovatum</i> (C.A. Mey.) Turcz. / <i>Alyssum obovatum</i> (C.A. Mey.) Turcz.	+ / - / + / -	+ / - / + / -	2
3	<i>Arabisopsis petraea</i> (L.) V.I. Dorof. / <i>Arabisopsis lyrata</i> subsp. <i>petraea</i> (L.) O'Kane & Al-Shehbaz.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	3
4	<i>Arabisopsis thaliana</i> (L.) Heynh. / <i>Arabisopsis thaliana</i> (L.) Heynh.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-
5	<i>Arabis alpina</i> L. / <i>Arabis alpina</i> L.	+ / + / + / +	+ / + / + / -	-
6	<i>Arabis gerardii</i> (Bess.) Koch / <i>Arabis gerardii</i> Besser	- / - / - / -	- / - / - / -	-
7	<i>Arabis sagittata</i> (Bertol.) DC. (=A. <i>hirsuta</i>) / <i>Arabis sagittata</i> (Bertol.) DC.	+ / - / + / +	+ / - / + / -	-
8	<i>Barbarea arcuata</i> Reichb. / <i>Barbarea vulgaris</i> R.Br.	+ / + / + / -	+ / + / + / +	-
9	<i>Barbarea stricta</i> Andrz. / <i>Barbarea stricta</i> Andrz. ex Besser	+ / - / + / -	+ / + / + / -	-
10	<i>Barbarea vulgaris</i> R. Br. / <i>Barbarea vulgaris</i> R.Br.	+ / + / + / +	+ / + / + / +	-
11	<i>Berteroa incana</i> (L.) DC. / <i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-
12	<i>Brassica campestris</i> L. / <i>Brassica rapa</i> L.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-
13	<i>Braya purpurascens</i> (R.Br.) Bunge / <i>Braya purpurascens</i> (R.Br.) Bunge	+ / + / + / -	+ / + / + / -	4
14	<i>Bunias orientalis</i> L. / <i>Bunias orientalis</i> L.	+ / + / + / +	+ / + / + / -	-
15	<i>Camelina alyssum</i> (Mill.) Thell. (C. <i>linicola</i>) / <i>Camelina alyssum</i> (Mill.) Thell.	- / - / + / -	- / - / + / -	-
16	<i>Camelina microcarpa</i> Andrz. / <i>Camelina microcarpa</i> Andrz. ex DC.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-

Продолжение таблицы

№	Название видов по С.К. Черепанову, 1995 / Название по The Plant List, 2019	Наличие последовательностей rbcL/matK/ITS2/ trnH- psbA в NCBI	Наличие последовательностей rbcL/matK/ITS2/ trnH- psbA в BOLD systems	Категория охраны в Красной книге Республики Коми (2009)
17	<i>Camelina pilosa</i> (DC.) N.Zing. / <i>Camelina sativa</i> (L.) Crantz.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-
18	<i>Camelina sativa</i> (L.) Crantz / <i>Camelina sativa</i> (L.) Crantz	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-
19	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. / <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	+ / + / + / +	+ / + / + / +	-
20	<i>Cardamine amara</i> L. / <i>Cardamine amara</i> L.	+ / + / + / +	+ / + / + / -	-
21	<i>Cardamine bellidifolia</i> L. / <i>Cardamine bellidifolia</i> L.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	3
22	<i>Cardamine impatiens</i> L. / <i>Cardamine impatiens</i> L.	+ / + / + / +	+ / + / + / +	-
23	<i>Cardamine macrophylla</i> Willd. / <i>Cardamine macrophylla</i> Willd.	+ / + / + / +	+ / + / + / +	Бионадзор
24	<i>Cardamine pratensis</i> L. / <i>Cardamine pratensis</i> L.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-
25	<i>Cardaria draba</i> (L.) Desv. (= <i>Lepidium draba</i>) / <i>Lepidium draba</i> L.	+ / + / + / +	+ / + / - / -	-
26	<i>Chorispora tenella</i> (Pall.) DC. / <i>Chorispora tenella</i> (Pall.) DC.	+ / + / + / +	+ / + / + / -	-
27	<i>Cochlearia arctica</i> Schlecht. ex DC. / <i>Cochlearia arctica</i> Schlttd. ex DC.	- / - / - / -	- / - / - / -	-
28	<i>Conringia orientalis</i> (L.) Dumort / <i>Conringia orientalis</i> (L.) Dumort.	+ / - / + / -	+ / - / + / -	-
29	<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl / <i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl	+ / + / + / +	+ / + / + / -	-
30	<i>Draba alpina</i> L. / <i>Draba alpina</i> L.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	4
31	<i>Draba cinerea</i> Adams / <i>Draba cinerea</i> Adams	+ / + / + / -	+ / + / - / -	4
32	<i>Draba hirta</i> L. / <i>Draba hirta</i> L.	- / - / + / -	- / - / - / -	-
33	<i>Draba fladnizensis</i> Wulf. / <i>Draba fladnizensis</i> Wulfen	+ / - / + / -	+ / - / + / -	4

Продолжение таблицы

№	Название видов по С.К. Черепанову, 1995 / Название по The Plant List, 2019	Наличие последовательностей rbcL/matK/ITS2/ trnH- psbA в NCBI	Наличие последовательностей rbcL/matK/ITS2/ trnH- psbA в BOLD systems	Категория охраны в Красной книге Республики Коми (2009)
34	<i>Draba glacialis</i> Adams / <i>Draba glacialis</i> Adams	-/-/+/-	-/-/+/-	4
35	<i>Draba lactea</i> Adams / <i>Draba lactea</i> Adams	+/+/+/-	+/+/+/-	4
36	<i>Draba nemorosa</i> L. / <i>Draba nemorosa</i> L.	+/+/+/+	+/+/+/+	-
37	<i>Draba nivalis</i> Ljebl. / <i>Draba nivalis</i> Ljij.	+/+/+/-	+/+/+/-	4
38	<i>Draba ochroleuca</i> Bunge / <i>Draba ochroleuca</i> Bunge	-/-/+/-	-/-/+/-	-
39	<i>Draba pauciflora</i> R.Br. / <i>Draba pauciflora</i> R.Br.	+/+/-/-	+/+/-/-	4
40	<i>Draba sibirica</i> (Pall.) Thell. / <i>Draba sibirica</i> (Pall.) Thell.	-/-/+/-	-/-/+/-	-
41	<i>Draba subcapitata</i> Simm. / <i>Draba subcapitata</i> Simmons	+/+/+/-	+/+/+/-	-
42	<i>Erysimum cheiranthoides</i> L. / <i>Erysimum</i> <i>cheiranthoides</i> L.	+/+/+/+	+/+/+/+	-
43	<i>Erysimum hieracifolium</i> L. / <i>Erysimum odoratum</i> Ehrh..	+/+/+/-	-/-/+/-	-
44	<i>Erysimum pallasi</i> (Pursh) Fern / <i>Erysimum</i> <i>redowskii</i> Weinm.	+/+/+/-	+/+/+/-	3
45	<i>Erysimum repandum</i> L. / <i>Erysimum repandum</i> L.	+/+/+/-	+/+/+/-	-
46	<i>Euclidium syriacum</i> (L.) R.Br. / <i>Euclidium</i> <i>syriacum</i> (L.) R.Br.	+/+/+/-	-/-/+/-	-
47	<i>Eutrema edwardsii</i> R. Br. / <i>Eutrema edwardsii</i> R.Br.	+/+/+/+	+/+/+/-	2
48	<i>Lepidium densiflorum</i> schrad. / <i>Lepidium</i> <i>densiflorum</i> Schrad.	+/+/+/+	+/+/+/+	-
49	<i>Lepidium latifolium</i> L. / <i>Lepidium latifolium</i> L.	+/+/+/-	+/+/+/-	-
50	<i>Lepidium perfoliatum</i> L. / <i>Lepidium perfoliatum</i> L.	+/+/+/-	+/+/+/+	-
51	<i>Lepidium ruderale</i> L. / <i>Lepidium ruderale</i> L.	+/+/+/-	+/+/+/+	-
52	<i>Neslia paniculata</i> (L.) Desv. / <i>Neslia paniculata</i> (L.) Desv.	+/+/+/+	+/+/+/-	-

Окончание таблицы

№	Название видов по С.К. Черепанову, 1995 / Название по The Plant List, 2019	Наличие последовательностей rbcL/matK/ITS2/ trnH- psbA в NCBI	Наличие последовательностей rbcL/matK/ITS2/ trnH- psbA в BOLD systems	Категория охраны в Красной книге Республики Коми (2009)
53	<i>Neotorularia humilis</i> (C.A. Mey) Hedge et J. Leonard / <i>Braya humilis</i> (C.A. Mey) B.L. Rob.	+ / + / + / +	- / + / + / -	2
54	<i>Raphanus raphanistrum</i> L. / <i>Raphanus raphanistrum</i> L.	+ / + / + / +	+ / + / + / -	-
55	<i>Rorippa amphibia</i> (L.) Bess. / <i>Rorippa amphibia</i> (L.) Besser	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-
56	<i>Rorippa anceps</i> (Wahlenb.) Richenb. / <i>Rorippa anceps</i> (Wahlenb.) Rchb.	- / - / - / -	- / - / - / -	-
57	<i>Rorippa brachycarpa</i> (C.A. Mey. Hfak) / <i>Rorippa brachycarpa</i> (C.A. Mey.) Hayek	- / - / - / -	- / - / - / -	-
58	<i>Rorippa palustris</i> (L.) Bess. / <i>Rorippa palustris</i> (L.) Besser	+ / + / + / +	+ / + / + / -	-
59	<i>Rorippa sylvestris</i> (L.) Bess. / <i>Rorippa sylvestris</i> (L.) Besser	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-
60	<i>Schivereckia podolica</i> (Bess.) Andrz. ex DC. / <i>Schivereckia podolica</i> (Besser) Andrz. ex DC.	- / - / - / -	- / - / + / -	3
61	<i>Sinapis alba</i> L. / <i>Sinapis alba</i> L.	+ / + / + / +	+ / + / + / -	-
62	<i>Sinapis arvensis</i> L. / <i>Sinapis arvensis</i> L.	+ / + / + / +	+ / + / + / +	-
63	<i>Sisymbrium altissimum</i> L. / <i>Sisymbrium altissimum</i> L.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-
64	<i>Sisymbrium loeselii</i> L. / <i>Sisymbrium loeselii</i> L.	+ / - / + / -	+ / + / + / -	-
65	<i>Sisymbrium officinale</i> (L.) Scop. / <i>Sisymbrium officinale</i> (L.) Scop.	+ / + / + / +	+ / + / + / +	-
66	<i>Thlaspi arvense</i> L. / <i>Thlaspi arvense</i> L.	+ / + / + / +	+ / + / + / +	-
67	<i>Thlaspi cochleariforme</i> DC. / <i>Thlaspi cochleariforme</i> DC.	- / + / - / -	- / - / - / -	2
68	<i>Turritis glabra</i> L. / <i>Turritis glabra</i> L.	+ / + / + / -	+ / + / + / -	-

применяются для исследования филогенетических закономерностей и паспортизации сосудистых растений. Для некоторых таксонов сведения представлены неполно (только по нескольким маркерам) или вообще отсутствуют. Так, например, для редких в регионе видов растений *Draba glacialis* и *Schivereckia podolica* приведены только данные по *ITS2*, что делает актуальным исследование их нуклеотидных последовательностей по генам *rbcL* и *matK* и пополнение библиотеки штрих-кодов ДНК.

Работа выполнена в рамках проекта УрО РАН № 18-4-4-23.

ЛИТЕРАТУРА

Красная книга Республики Коми / Под ред. А.И. Таскаева. – Сыктывкар, 2009. – 791 с.

Мартыненко В.А. Сосудистые растения Республики Коми / В.А. Мартыненко, Б.И. Груздев. – Сыктывкар, 2008. – 136 с.

Мартыненко В.А. Конспект флоры национального парка «Югыд ва» (Республика Коми) / В.А. Мартыненко, С.В. Дегтева. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 107 с.

Флоры, лишено- и микобиоты особо охраняемых ландшафтов бассейнов рек Косью и Большая Сыня (Приполярный Урал, национальный парк «Югыд ва») / Под ред. С.В. Дегтевой. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2016. – 483 с.

Цвелев Н.Н. Конспект флоры Восточной Европы / Под ред. Н.Н. Цвелева. – М.; СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – Т. 1. – 630 с.

Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств / Под ред. Г.С. Розенберга, С.В. Саксонова. – СПб.: Мир и семья, 1995. – 990 с.

Al-Shehbaz I.A. Systematics and phylogeny of the Brassicaceae (Cruciferae): an overview / I.A. Al-Shehbaz, M.A. Beilstein, E.A. Kellogg // Plant Systematics and Evolution. – 2006. – № 259. – P. 89–120.

The Plant List, 2019 <http://www.theplantlist.org>.

ПРИМОРСКИЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ЛУГА ОСТРОВА СОСНОВЕЦ (БЕЛОЕ МОРЕ, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.И. Копейна¹, М.Н. Кожин^{1,2}

¹ Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина
Кольского НЦ РАН

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: Kopeina-E@yandex.ru

Биоразнообразие арктических островов очень уязвимо в условиях антропогенного давления и изменения климата. Многие арктические острова почти недоступны и до сих пор плохо изучены.

Наше исследование и анализ луговой растительности о-ва Сосновец должно внести вклад в знания об экосистемах арктических островов.

Остров Сосновец (66°29' N, 40°41' E) лежит в 8 км южнее от Северного Полярного круга, близ юго-востока Терского берега Белого моря. Остров имеет небольшие размеры и плоскую поверхность с высотой 10–15 м над ур.м. с небольшим возвышением в южной части (16.2 м). Площадь острова 40.6 га. В центральной части острова располагается маяк, работающий с 1862 г., а в южной – метеостанция. От материкового побережья его отделяет пролив Сосновецкая Салма шириной более 3.3 км.

Положение острова в схемах геоботанического и биогеографического районирования долгое время оставалось дискуссионным. В данной работе на основании анализа флоры и растительности мы относим о-в Сосновец к полосе южных субарктических тундр (Александрова, 1977) или к подзоне южных тундр (Чернов, Матвеева, 1979).

Полевые исследования проводились в августе 2016 г. Всего было выполнено 37 геоботанических описаний лугов площадью от 1 до 4 м² с описанием географического положения и мест обитания. Для описания и классификации растительности использовали подход Браун-Бланке (Westhoff, van der Maarel, 1973). Объем вышших единиц принят в соответствии с обзором Муцины с соавторами (Mucina et al., 2016). Все описания внесены в базу геоботанических данных TURBOVEG. Образцы гербария депонированы в MW, H, PTZ, KAND и KPAVG.

Приморская растительность на острове выражена слабо и представлена в основном разреженными группировками на береговых скальных обнажениях из *Puccinellia pulvinata*, *Cochlearia arctica*, *Ligusticum scoticum*, *Arctanthemum hulthenii*, *Mertensia maritima*, *Carex glareosa*, *Rhodiola rosea*. Только в южной части острова встречаются приморские луга. На песчаном субстрате средней литорали с постоянным воздействием приливов распространены луга ассоциации (далее – асс.) *Plantaginetum maritimae* Dahl et Nadač 1941 с доминированием *Plantago maritima* s. l. и незначительным участием *Puccinellia pulvinata*, *Triglochin maritima* и *Stellaria humifusa*. Выше располагаются сообщества асс. *Caricetum subspathaceae* Nadač 1946 со сплошным покровом из *Carex subspathacea*. Асс. *Caricetum glareosae* de Molenaar 1974 с преобладанием *Carex glareosa*, *Potentilla egedii*, *Festuca rubra* s. l. и *Calamagrostis deschampsoides* имеют площадь от 2 до 10 м² и изредка встречаются по всему периметру острова на границе с вороничными сообществами в защищенных скальных ваннах, под-

вергающихся воздействию только высоких приливов. На засоленных заиленных участках с постоянным притоком пресной воды находятся марши асс. *Caricetum mackenziei* Nordh. 1954 из *Carex mackenziei* и *C. rariflora*.

На каменистом пляже супралиторали неширокой прерывистой полосой встречается тип сообществ *Honckenya peploides* (Королева и др., 2011) с доминированием *Honckenya peploides*. Выше на береговом валу встречаются приморские дуга высокого уровня асс. *Honckenyo diffusae-Elymetum arenarii* (Regel 1928) Тх. 1966 с доминированием *Leymus arenarius*, *Lathyrus aleuticus*, *Ligusticum scoticum*, *Sonchus arvensis*, *Festuca rubra* s.l., *Conioselinum tataricum*. Они, как и большинство травянистых сообществ острова, претерпели сильное антропогенное и зоогенное влияние (выпас), что проявляется в мозаичности растительного покрова и значительном участии видов соседних сообществ (*Chamaepericlymenum sueticum*, *Empetrum hermaphroditum*, *Calamagrostis groenlandica*).

На склонах и плато в северо-западной и южной частях острова рядом с хозяйственными постройками широко распространены травянистые сообщества, постепенно сменяющиеся естественными тундровыми ценозами. Умеренно увлажненные местообитания занимают сообщества с доминированием *Chamaenerion angustifolium*, который образует густые розово окрашенные заросли 0.7–1.5 м высотой. Мохово-лишайниковый ярус представлен *Polytrichum juniperinum*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum majus*, *Cetraria islandica*, *Cladonia arbuscula*, *Flavocetraria nivalis*. Его проективное покрытие варьирует от 1 до 45%, что связано как с интенсивностью нарушения и стадией восстановления сообществ, так и с сомкнутостью иван-чая.

В переувлажненных нарушенных местообитаниях на плато и в логах на склонах в центре острова наиболее широко распространен тип сообществ *Deschampsia cespitosa*. Травяно-кустарничковый ярус чаще всего мозаичный, в нем обычны апофиты *Rumex lapponicus*, *Dryopteris expansa*, *Equisetum arvense*, *Chamaepericlymenum sueticum*, *Equisetum sylvaticum*, *Phleum alpinum*, *Cerastium fontanum*, *Trientalis europaea*. Иногда встречаются единичные кустарники (*Salix glauca* и *S. phylicifolia*) высотой до 0.5 м. Некоторые сообщества имеют вид кочкарника. Высота кочек щучки (без учета генеративных побегов) достигает 10–15 см, а межкочковые понижения заняты очесом.

На крутых склонах и в их подножьях в юго-восточной и западной частях острова располагаются обширные монодоминантные сообщества из *Calamagrostis phragmitoides*. Они приурочены к участкам с постоянным подтоком пресной воды.

Таким образом, растительный покров о-ва Сосновец отличается значительным разнообразием луговых сообществ, что обусловлено как естественными причинами, так и длительным антропогенным влиянием.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 16-05-00644.

ЛИТЕРАТУРА

Александрова В.Д. Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики / В.Д. Александрова. – Л., 1977. – 188 с.

Королева Н.Е. Сообщества маршей, пляжей и приморского пойменного эфемеретума Мурманского, Терского и востока Кандалакшского берега (Мурманская область) / Н.Е. Королева, С.В. Чиненко, Э.Б. Сорланд // Фиторазнообразии Восточной Европы. – 2011. – Т. 9. – С. 3–48.

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

Чернов Ю.И. Закономерности зонального распределения сообществ на Таймыре / Ю.И. Чернов, Н.В. Матвеева // Арктические тундры и полярные пустыни Таймыра. – Л., 1979. – С. 166–200.

Mucina L. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities / L. Mucina, H. Bülmann, K. Dierßen et al. // Applied Vegetation Science. – 2016. – V. 19. – 264 p.

Westhoff V. The Braun-Blanquet approach / V. Westhoff, E. van der Maarel // Handbook of Vegetation Science. Part V. Ordination and classification of communities. – The Hague, 1973. – P. 617–626.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ РЕДКОГО ВИДА *ASTER AMELLUS* L.

Е.Н. Кузнецова

Удмуртский государственный университет
E-mail: pterus-2008@mail.ru

Для сохранения растительного биоразнообразия используются различные подходы и методы. Микроклональное размножение как биотехнологический метод позволяет создать коллекцию редких и исчезающих видов растений вне их естественного местообитания, но несмотря на существование общих приемов микроклонирования, не для всех видов растений подробно разработана методика искусственного вегетативного размножения с учетом всех особенностей биологии вида.

В качестве объекта исследования был выбран вид *Aster amellus* L. (астра итальянская, семейство *Asteraceae*), занесенный в

Красную книгу Удмуртской Республики (2012) и имеющий статус редкости 3. В качестве первичных эксплантов были использованы семена, собранные с растений, произрастающих в природной популяции в Малопургинском районе Удмуртии. Предварительно собранный семенной материал был проверен на жизнеспособность по общепринятым методикам (Международные правила..., 1984). Согласно полученным данным, наилучшую всхожесть при температуре 25 °C и 16-часовом фотопериоде имеют семена, отобранные из центра соцветия (всхожесть составила около 60%). В дальнейшем для экспериментов использовались только «центральные» семена.

На всех этапах микроклонального размножения были использованы стандартные методы и подходы (Технология..., 1992). Ввод вида в культуру *in vitro* путем посева семян осуществлялся на питательную среду Мурасиге-Скуга (MS) по стандартной прописи без добавления фитогормонов. Основной задачей на первом этапе микроклонального размножения был подбор сочетаний стерилизующих агентов, незначительно влияющих на жизнеспособность семян, но одновременно обеспечивающих высокую степень освобождения семенной поверхности от различных патогенов. Для стерилизации материала были использованы различные химические вещества с разным временем экспозиции в них. Наиболее эффективными сочетаниями стерилизующих агентов оказались комплексы, состоящие из 70%-ного этилового спирта и 15%-ной перекиси водорода, а также аналогичное сочетание с добавлением 1%-ного раствора нитрата серебра (всхожесть составила 50 и 41.7% соответственно), при этом доля контаминированных семян в данных вариантах обработки низкая (от 3.3 до 5.0%).

На этапе собственно микроразмножения использовались микрочеченки с двумя междоузлиями. Так как в литературе (Münzbergová et al., 2011) приводятся данные об обитании данного вида на известковых почвах, то наряду со средой MS, считающейся универсальной для большинства видов растений (Технология..., 1992), была использована среда Woody plant medium (WPM). Данная среда отличается высоким содержанием кальция и может быть использована для культивирования видов-кальцефилов. Для стимулирования побегообразования также был использован цитокинин – 6-Бензиламинопурин (БАП) в концентрации 0.5 мг/л.

Наибольший показатель коэффициента размножения на данном этапе проявился при культивировании эксплантов на среде WPM с добавлением фитогормона – 3.5 ± 0.8 . Наименьшее число дополнительных микрочеченков было образовано на среде MS с добавлением БАП (коэффициент размножения 1.7 ± 0.6) и на безгормональной среде MS (коэффициент размножения 1.8 ± 0.2).

На третьем этапе микроклонального размножения – этапе укоренения – были использованы обедненные среды MS и WPM, а также в отдельных вариантах опыта для стимуляции корнеобразования применен ауксин – индолил-масляная кислота в концентрации 0.2 мг/л. Наибольшая доля укорененных микрочеренков наблюдалась на обедненной среде MS (процент укоренения составил от 51.9 до 58.3). Использование среды WPM приводит к уменьшению интенсивности корнеобразования.

Для адаптации полученных растений-регенерантов к нестерильным условиям были использованы два состава субстратов: низинный торф и песок в соотношении 2:1, а также подобное сочетание, но с добавлением сфагнома (Любимова, Коновалова, 2016). Оба варианта опыта показали достаточно высокую степень приживаемости регенерантов (83.3 и 86.7% соответственно).

Таким образом, для ввода в культуру *in vitro* редкого вида *Aster amellus* L. возможно использование семян в качестве первичных эксплантов, при этом для освобождения семенной поверхности от патогенов требуется ступенчатая обработка стерилизующими агентами. Применение питательной среды WPM повышает коэффициент размножения и позволяет тем самым получить большую долю микрочеренков. Однако для их укоренения требуется обедненная питательная среда с более низким содержанием кальция (например, MS). Адаптацию полученных растений-регенерантов возможно проводить при использовании почвосмеси низинно-го торфа и песка.

ЛИТЕРАТУРА

Красная книга Удмуртской Республики. 2-е изд. / отв. ред. О.Г. Баранова. – Чебоксары: Перфектум, 2012. – 458 с.

Любимова Е.И. Использование мха-сфагнома на стадии укоренения и адаптации регенерантов *ex vitro* / Е.И. Любимова, Л.Н. Коновалова // **Материалы VII Международной научно-практической конференции «Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира (физиолого-биохимические, эмбриологические, генетические и правовые аспекты)»**, посвященной 30-летию отдела биотехнологии растений Никитского ботанического сада (25 сентября–1 октября 2016 г., г. Ялта). – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2016. – С. 94–95.

Международные правила анализа семян. – М.: Колос, 1984. – 310 с.

Технология микроклонального размножения растений / Ф.Л. Калинин, Г.П. Кушнир, В.В. Сарнацкая. – Киев: Наукова думка, 1992. – 232 с.

Münzbergová Z. Biological flora of Central Europe: *Aster amellus* L. (Asteraceae) / Z. Münzbergová, J. Raabová, S. Castro, H. Pánková // *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*. – 2011. – V. 13. – N 2. – P. 151–162.

**ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЯ СОСНЯКА БРУСНИЧНОГО
СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (ВЕРХНЯЯ ПЕЧОРА)**

И.Н. Кутявин, А.В. Манов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kutjavin-ivan@rambler.ru

Наиболее надежными и точными методами оценки развития древостоев в пространстве и во времени являются длительные наблюдения на постоянных пробных площадях (Рысин и др., 1981). Работы, касающиеся динамических процессов в древесном ярусе лесных сообществ на постоянных пробных площадях (ППП) в Республике Коми, единичны (Осипов, Бобкова, 2016). Следовательно, исследования динамических процессов структурной организации лесных сообществ рассматриваемого региона остаются открытыми. Материал направлен на оценку десятилетней динамики структуры древостоя коренного сосняка брусничного, развивающегося в условиях средней тайги.

Согласно нормативным требованиям и указаниям (ОСТ 56-69-83), на территории Печоро-Илычского государственного заповедника в 2007 г. с целью длительных наблюдений за изменением строения в сосняке брусничном была заложена ППП. Обобщающий материал исследований на ППП приведен в работе (Кутявин, 2018). В 2018 г. в сосняке был проведен повторный пересчет с использованием современного таксационного оборудования Haglof. Данные приборы позволяют оценить не только морфометрические показатели (диаметр, высота), но и находить прямоугольные координаты (x , y) положения деревьев и подроста на площади. В сосняке брусничном у всех деревьев при помощи высотомера Haglof было проведено измерение протяженности крон, а также радиусов проекций крон с использованием лазерного дальномера Leica. Обработка фактического материала проведена с использованием как классических методов статистического расчета результатов, применяемых в лесной таксации (Гусев, 2002), так и современных методик и программ (Baddeley, Turner, 2005; Grabarnik et al., 2011).

Сосняк брусничный располагается на предпойменной боровой террасе р. Печора. Последний раз древостой подвергался пирогенному воздействию более 130 лет назад (1887 г.). Повторное исследование 2018 г. показало, что за прошедшие 10 лет после первого пересчета в сосняке произошли значительные изменения в структуре древостоя. Это связано с появлением в нем нового поколения деревьев сосны (35–75 лет), перешедших из подроста. При первичном обследовании ППП было установлено, что подрост со-

сны из-за сильной вытянутости стволов часто страдает от снеголома. За прошедшее время в составе древостоя отмечается появление единичных особей ели (см. таблицу) в возрасте 50–60 лет. За счет пополнения древостоя новым поколением деревьев значительно увеличивается его густота – со 170 до 484 шт. га⁻¹. Несмотря на увеличение густоты древостоя, наблюдается тенденция снижения запасов стволовой древесины. Снижение накопленной древесины в ценозе объясняется постепенным распадом в нем деревьев старого материнского поколения. Сформированное маломерное новое поколение деревьев не оказывает существенного влияния на производительность древостоя.

За последние 10 лет отмечается изменение морфометрических показателей исследуемого древостоя сосняка брусничного. Так, средний диаметр снижается с 39 до 13 см, средняя высота – с 20.8 до 18.2 м. Несмотря на уменьшение среднего возраста древостоя с 260 до 190 лет, происходит падение бонитета с IV до V класса. Образовавшийся разрыв (117 лет) между первым и вторым поколениями деревьев, увеличение амплитуды колебания возраста, диаметра, высоты привели к значительному росту статистических показателей. Коэффициент варьирования возраста по сравнению с 2007 г. увеличился с 13.3 до 65.6%, диаметра – с 16.9 до 76.4, высоты – с 11.7 до 40.8%. Следовательно, древостой сосняка брусничного, относящийся к условно-разновозрастному типу возрастной структуры и состоящий из одного старовозрастного поколения, через 10 лет приобрел черты ступенчато-разновозрастного, состоящего из деревьев двух поколений.

Проведенный анализ вертикальной структуры сосняка брусничного показал, что на момент первого исследования (2007 г.) древостой имел «регулярный по верху» тип вертикальной структуры (Плотников, 1975), где старшее поколение деревьев имело небольшую вариацию по высоте, хотя по протяженности крон деревья сильно различались. С поступлением в древостой вновь сформированного из подростка поколения, сосняк приобрел черты

Динамика таксационных показателей древостоя сосняка брусничного

Состав	Средние		Возраст, лет	Густота, шт. га ⁻¹		Запас, м ³ га ⁻¹		Абсолютная полнота, м ² га ⁻¹	Класс бонитета
	диаметр, см	высота, м		Живой	Сухой	Живой	Сухой		
2007 г.									
10С	39.1	20.8	160-340	170	60	210	20.8	21	IV
2018 г.									
10С ед.Е	13.0	18.2	34-324	484	60	193.4	30.0	21.3	V

«регулярного по низу» типа вертикального строения. Для данного типа структуры характерно различие по высоте деревьев, однако основания крон располагаются примерно на одинаковой высоте.

Таким образом, наблюдения за динамикой структуры древостоя в сосняке брусничном показали значительные изменения в структурной организации. При длительном отсутствии воздействия пожаров (130 лет) древостой пополнился новым поколением деревьев сосны за счет разновозрастного подроста под его пологом. Такое изменение привело к увеличению морфологических и пространственных признаков деревьев. Дальнейшее наблюдения на ПППП позволят глубже понять развитие сосновых лесов в условиях севера таежной зоны.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (18-34-00563 мол-а), а также в рамках Государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН, номер гос. регистрации АААА-А17-117122090 014-8.

ЛИТЕРАТУРА

Гусев И.И. Моделирование экосистем / И.И. Гусев. – Архангельск: Изд-во Архангельского гос. техн. университета, 2002. – 112 с.

Кутявин И.Н. Сосновые леса Северного Приуралья: строение, рост, продуктивность / И.Н. Кутявин. – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. – 176 с. DOI: 10.31140/book-2018-02

Осипов А.Ф. Биологическая продуктивность и фиксация углерода среднетаежными сосняками при переходе из средневозрастных в спелые / А.Ф. Осипов, К.С. Бобкова // Лесоведение. – 2016. – № 5. – С. 346–354.

Плотников В.В. Эволюция структуры растительных сообществ / В.В. Плотников. – М.: Наука, 1979. – 276 с.

Рысин Л.П. Значение постоянных пробных площадей в лесоводственных исследованиях / Л.П. Рысин, А.Д. Вакуров, В.Ф. Павлов // Лесоведение. – 1981. – № 1. – С. 60–66.

Baddeley A. Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns / A. Baddeley, R. Turner // Journal of Statistical Software. – 2005. – V. 12. – № 6. – P. 1–42.

Grabarnik P. Correct testing of mark independence for marked point patterns / P. Grabarnik, M. Myllymaki, D. Stoyan // Ecological Modelling. – 2011. – V. 222. – № 23–24. – P. 3888–3894.

ВОДОРΟΣЛИ ГОРНЫХ ОЗЕР В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ХАЛЬМЕРЬЯ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ, НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «ЮГЫД ВА»)

А.В. Макарова¹, Ю.Н. Шабалина¹, И.Н. Стерлягова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: alena-makarova-97@inbox.ru

Водоросли в водоемах севера являются важным компонентом экосистем, выполняя роль продуцентов и принимая участие в круговороте веществ. Водоросли как биоиндикаторы широко используются для оценки экологического состояния природной среды на особо охраняемых территориях. Изучение альгоценозов Приполярного Урала активно началось в конце XX в. и продолжается по настоящий день. В работе «Флоры, лишено- и микобиоты...» (2016) были обобщены данные по изучению диатомовых и других отделов водорослей в разнотипных водоемах, где насчитывается 829 видов водорослей.

Цель работы – изучение разнообразия водорослей в разных сообществах четырех горных озер Северного Урала в окрестностях горы Хальмерсале. Три из них ранее не были исследованы в альгологическом отношении. Сведения об альгофлоре одного из озер представлены в работе (Макарова и др., 2017). Район исследования расположен на территории национального парка «Югыд ва», который входит в список всемирного наследия ЮНЕСКО. Данная область является труднодоступной и практически не испытывает антропогенного воздействия.

Исследуемые озера имеют ледниковое происхождение. Озера № 1 и 2 (названия условные) проточные, соединяются узкой протокой. Озера № 3 и 4 – бессточные. Глубина от 0.7 до 2.0 м. Вода по преобладающим ионам гидрокарбонатно-кальциевая, с низкой минерализацией за счет снегового питания. Кислотность колеблется от 6.1 до 7.02.

Всего в обследуемых озерах было обнаружено 162 вида водорослей, принадлежащих к семи отделам, 11 классам, 28 порядкам, 49 семействам и 71 роду. Основа таксономической структуры альгофлоры образована отделами *Bacillariophyta* – 100 видов, *Streptophyta* – 27, *Chlorophyta* – 14 и *Cyanoprokaryota* – 10 видов. Водоросли других отделов – *Ochrophyta* (пять видов), *Charophyta* (четыре вида) и *Dinophyta* (два вида) – в сумме составляют 11%. Данное соотношение отделов сопоставимо с другими уральскими озерами – Возейты, Большое Щучье, Манясейто и др. (Ярушина, 2004; Лоскутова и др., 2018). Лидирующими по чис-

лу таксонов являются восемь семейств: *Desmidiaceae* (22 вида), *Eunotiaceae* (14), *Gomphonemataceae* и *Pinnulariaceae* (по 12 видов), *Achnanthidiaceae* (11), *Bacillariaceae* (8), *Tabellariaceae* (7) и *Scenedesmaceae* (5). Остальные семейства представлены одним-четырьмя видами (44%). Высокое разнообразие видового состава семейства *Desmidiaceae* указывает на гюларктические черты флоры и подчеркивает горный характер исследуемых озер (Гецен, 1985; Комулайнен, 2004). Схожее преобладание семейств приводится для озер Полярного Урала в бассейне рек Усы и Кары (Биразнообразие..., 2007). В озерах по разнообразию доминируют отделы *Eunotia* (14 видов), *Pinnularia* (12), *Cosmarium* (11), *Gomphonema* (8), *Nitzschia* (7) *Staurastrum* (6) и *Scenedesmus* (5), остальные виды представлены одним-четырьмя таксонами (61%). Рассматриваемый родовой комплекс отличается от такового, например, в бассейне рек Косью и Большая Сыня, где первые пять мест занимают рода *Eunotia*, *Navicula*, *Pinnularia*, *Cosmarium*, *Nitzschia* (Флоры..., 2016). Вероятно, преобладание рода *Navicula* связано с исследованием не только стоячих, но и текучих водных объектов.

Согласно коэффициенту Сьеренсена-Чекановского (K_s), сходство между озерами низкое. Наиболее близкими по видовому составу оказались озера № 1 и 2 (коэффициент сходства – 30%), образующие единую систему за счет соединяющего их ручья и имеющие одинаковые экологические условия.

В озере № 1 было обнаружено 93 вида с внутривидовыми таксонами. По видовому разнообразию выделяются роды *Eunotia* (14 видов), *Pinnularia* (9), *Cosmarium* (7), *Gomphonema* и *Tribonema* (по 4 вида). Основу эпифитона зеленых нитчаток на камнях образуют *Tribonema vulgare* Pascher (6 баллов), на мхах – *Eunotia paratridentula* Lange-Bertalot & Kulikovskiy и *Psammothidium helveticum* (Hustedt) Bukhtiyarova & Round, на хвоще – *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh. В озере № 2 найдено 58 видов, относящихся к 29 родам, среди которых лидирующими являются *Nitzschia* (6 видов), *Cosmarium* и *Gomphonema* (по 5 видов), *Pinnularia* (4). В планктоне обильно представлены *Asterionella formosa* Hassall (6 баллов), в донных сообществах – *Hannaea arcus* (Ehrenberg) R.M. Patrick (6 баллов). В озере № 3 найдено 46 видов водорослей с внутривидовыми таксонами, принадлежащих к 29 родам. Род *Staurastrum* содержит пять таксонов, остальные роды включают от одного до трех видов. На моховых и каменистых субстратах массового развития достигают *Asterionella formosa* и *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing. Во втором биотопе высокого обилия достигает *Stigonema ocellatum* Born. et Flah. В озере № 4 наблюдается слабое развитие альгофлоры, всего обнаружен 21 вид

из 16 родов, среди которых *Eunotia* и *Pinnularia* представлены тремя видами, остальные по одному.

Согласно географическому анализу, 55 видов (34%) водорослей являются космополитами, т.е. широко распространенными, что характерно для большинства водоемов умеренной зоны (Гецен и др., 1994). Среди аркто-альпийских групп найдено 10 таксонов (6%) и шесть (4%) бореальных видов. Для более чем половины списка альгофлоры (56%) географическая характеристика не установлена.

Виды, для которых известна характеристика по отношению к кислотности, составляют 40% от общего списка. Алкалифилов 21 вид (13%), среди которых доминантами в озере № 2 являются *Asterionella formosa* и *Hannaea arcus*. Ацидофилов – 19 таксонов (12%), включая виды *Psammothidium subatomoides* и *Eunotia paratridentula*, с высоким обилием отмеченные в озере № 1. Незначительно уступают индифференты – 18 таксонов. Нейтрофильных водорослей обнаружено пять видов (3%). Одним видом представлен алкалибионт – *Epithemia zebra* var. *saxonica* (Kützing) Grunow. По отношению к солености большая часть видов относится к индифферентам (56 видов, или 35%), по разнообразию им уступают галофобы (10 видов, или 6%), среди которых часто встречаются *Tabellaria flocculosa*. Обнаружено по четыре вида галофильных и олигогалобных водорослей (4% от общего списка). Высока доля видов (54%) с невыясненной галообной характеристикой. Приуроченность к определенной экологической группе по типу местообитания известна для 100 таксонов (62%). Планктонные группы водорослей представлены 60 видами (37%), планктонно-бентосные – 26 видами (16%) и планктонные – 12 видами (7%), также обнаружены эпифитный вид *Uronema intermedium* Bourrelly и характерный для почв *Fischerella muscicola* Gomont. Данные по сапробности известны для 82 таксонов. Индикаторы чистых вод составляют 41 вид (25%), к ним относятся доминанты *Asterionella formosa* и *Hannaea arcus*. Видов-индикаторов вод с высоким содержанием органического вещества – 12 (7%), толерантных групп водорослей – 29 (18%).

В ходе исследования горных озер в бассейне р. Хальмерья выявлено умеренное разнообразие водорослей с преобладанием по числу видов *Bacillariophyta*, родов *Eunotia* и *Pinnularia*, что характерно для стоячих водоемов Приполярного и Полярного Урала. Соотношение индикаторов солености соответствует низкой минерализации озер. Преобладание видов, характерных для вод с низким содержанием органических веществ, свидетельствует о благоприятном экологическом состоянии исследованных горных озер.

ЛИТЕРАТУРА

Биоразнообразие экосистем Полярного Урала / Отв. ред. М.В. Гецен. – Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2007. – С. 40–69.

Гецен М.В. Альгофлора Большеземельской тундры в условиях антропогенного воздействия / М.В. Гецен, А.С. Стенина, Е.Н. Патова. – Екатеринбург, 1994. – 148 с.

Комулайнен С.Ф. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. – 182 с.

Лоскутова О.А. Гидробионты горно-долинного озера Манясейто (Полярный Урал) / О.А. Лоскутова, Л.Н. Тикушева, Е.Н. Патова и др. // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2018. – № 4 (206). – С. 17–25.

Макарова А.В. Первые сведения о водорослях (исключая *Vaccillariophyta*) горных озер окрестностей горы Хальмерсале (бассейн реки Щугор, Северный Урал) / А.В. Макарова, И.Н. Стерлягова, Ю.Н. Шабалина // XXIV Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии», посвященная 55-летию Института биологии Коми НЦ УрО РАН: материалы докладов (3–7 апреля 2017 г., Сыктывкар, Республика Коми, Россия). – Сыктывкар, 2017. – С. 21–24.

Флоры, лишено- и микобиоты особо охраняемых ландшафтов бассейнов рек Косью и Большая Сыня (Приполярный Урал, национальный парк «Югыд ва») / Отв. ред. С.В. Дегтева. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. – 483 с.

Жрушина М.И. Водоросли / В.Д. Богданов, Е.Н. Богданова, А.Л. Гаврилов и др. // Биоресурсы водных экосистем Полярного Урала. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – С. 19–56.

ЛЕСОВОЗОБНОВИТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС НА ВЫРУБКАХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ СОСНЯКОВ ЧЕРНИЧНЫХ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

А.Ф. Осипов

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: osipov@ib.komisc.ru

Леса на территории Республики Коми занимают порядка 36 млн. га и выполняют важные средообразующие и биосферные функции в Северном полушарии. В настоящее время ежегодно промышленными рубками в Республике Коми проходит около 40–60 тыс. га, а объем заготавливаемой древесины составляет 8–10 млн. м³. В 2017 г. площадь, охваченная лесовосстановлением, была сопоставима с вырубленной (Государственный доклад..., 2017). Однако, этот показатель достигается в первую очередь за счет естественного возобновления путем сохранения на ле-

сосеках подроста и обсеменителей, т.е. восстановление происходит преимущественно путем содействия естественному возобновлению, следовательно, повышение эффективности этого процесса является одной из важнейших задач лесного хозяйства для европейского севера России (Цветков, 2010). Несмотря на интенсивные лесозаготовки, работ, характеризующих возобновительный процесс на вырубках рассматриваемого региона, явно недостаточно (Ильчуков, 1997; Ларин и др., 2000).

Цель работы – оценить изменения густоты, состава и жизненного состояния подроста после сплошнолесосечной вырубке среднетаежного сосняка черничного.

Объектами исследования явились сплошнолесосечные рубки сосняков черничных, проведенные в 2008 г. (участок В-10) и 2015 г. (участок В-3) и расположенные на расстоянии ~1.5 км друг от друга. Способ рубки и вывозки древесины на лесосечных участках различались. Заготовка древесины в сосняке черничном в 2008 г. была проведена с использованием хлыстовой трелевки стволов, а в 2015 г. применялись лесозаготовительные комплексы с сортиментной вывозкой древесины. Спелый сосняк черничный, произрастающий рядом со свежей вырубкой, послужил фоновым участком.

На объектах исследования заложены постоянные пробные площади (ППП) размером 0.24 га (на вырубках) и 0.16 га (в фоновом сосняке). Учет подроста осуществлялся на каждой ППП на 50 круговых площадках по 10 м², закладываемых через каждые 5 м вдоль границ ППП. У каждой особи подроста определяли высоту, жизненное состояние. В камеральных условиях рассчитывали среднюю густоту подроста, коэффициент его встречаемости (Ларин и др., 2000) и коэффициент гомогенности, а также индекс жизненного состояния (Алексеев, 1989).

На вырубках среднетаежных сосняков отмечается активный лесовосстановительный процесс, сопровождающийся увеличением количества подроста. Интенсивность возобновления на пасеках трех- и 10-летней вырубке сопоставима, тогда как на волоках старой вырубке (В-10) густота подроста в 3.2 раза больше по сравнению с волоками на участке В-3. В результате рубки древостоев сосняков подрост ели теряет доминирующие позиции в лесовосстановлении. Состояние ее ценопопуляций на участке В-3 удовлетворительное, однако, оставленный второй ярус на старой вырубке сохранил ценопопуляцию подроста ели на пасечных участках. Спустя 10 лет после рубки сосняка черничного на пасечных и волочных участках отмечается успешное возобновление сосны, тогда как на свежей вырубке ее возобновление только удовлетво-

рительное. Активное развитие березы отмечено на волоках участка В-10. Анализ коэффициента гомогенности показал, что во всех исследованных сообществах подрост имеет групповое размещение, за исключением подроста ели на волоках вырубок, где он размещен случайно. В результате рубки сосняка черничного происходит перераспределение роли подроста разных категорий крупности в формировании молодняка. По сравнению с фоновым сосняком на вырубках увеличивается доля мелкого и среднего подроста с одновременным уменьшением их средней высоты. Так, в фоновом сосняке черничном средняя высота подроста ели составляет 1.8 ± 0.1 м, березы – 3.1 ± 0.6 , сосны – 5.7 ± 0.7 , а на вырубках разных лет их средняя высота уменьшается соответственно в 1.2–1.8, 2.5–5.6, 8.1–11.1 раза с меньшим значением на трехлетней вырубке. Ценопопуляции подроста сосны и березы на вырубках характеризуются как здоровые. Изменение условий освещенности привело к ослаблению жизнедеятельности подроста ели.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Комплексной программы УрО РАН № 18-4-4-29 «Зональные закономерности бюджета углерода в лиственно-хвойных экосистемах европейского Северо-Востока».

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев / В.А. Алексеев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 51–57.

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2017 году» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «ТФИ РК». – Сыктывкар, 2018. – 165 с.

Ильчуков С.В. Возобновление вырубок из-под сосняков / С.В. Ильчуков // Трансформация экосистем севера в зоне интенсивной заготовки древесины. Сер. «Труды Коми научного центра УрО РАН», отв. ред. А.И. Таскаев. – Сыктывкар, 1997. – С. 71–77.

Ларин В.Б. Восстановление лесов после рубок главного пользования / В.Б. Ларин, В.Д. Пручкин, С.В. Ильчуков // Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми // Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. – М., 2000. – С. 95–125.

Цветков В.Ф. Потенциал лесовозобновления на вырубках европейского севера России / В.Ф. Цветков // Лесоведение. – 2010. – № 3. – С. 3–14.

РЕВИЗИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ГЕНОВ *rbcl* И *matK* ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА БОБОВЫЕ (FABACEAE) ФЛОРЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ В БАЗАХ ДАННЫХ (BOLD, NCBI).

В.Д. Петров¹, Д.М. Шадрин²

¹ Детский технопарк Кванториум, Биоквантум

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: shdimas@ya.ru

Семейство Бобовые является одним из важнейших семейств растений на планете. Согласно сайту «**The Plant List**», данное семейство включает примерно 24 000 видов, объединенных в 946 родов. Среди бобовых много видов пищевых и кормовых растений. Например, арахис, сою, фасоль, чечевицу и горох люди часто употребляют непосредственно в пищу. Вика, эспарцет, нут, кормовой горох, люпин из-за высокого содержания белка используются как корм для сельскохозяйственных животных, которые в конечном итоге в виде молочной или мясной продукции попадают к нам на стол. Систематика семейства Бобовые за последние несколько десятилетий претерпела существенные изменения, а ранг главнейших групп бобовых долгое время был дискуссионным вопросом. Ряд специалистов считает бобовые порядком (Cronquist, 1988), другая часть специалистов считает бобовые единым семейством, как и принято в настоящее время (Polhill et al., 1981).

Сегодня идентификация новых видов, а также изучение распространения и филогенетических взаимоотношений среди видов не обходится без привлечения методов молекулярно-филогенетического анализа. Все чаще для идентификации растительных образцов используют комбинацию последовательностей генов *rbcl* и *matK*, локализованных в хлоропластном геноме. В результате многолетних исследований данные последовательности ДНК зарекомендовали себя как последовательности, обладающие почти 100%-ной разрешающей способностью разделять группы видов на рода, и от 75- до 95%-ной возможностью разделять между собой виды внутри рода в зависимости от той или иной систематической группы (Hollingsworth, 2011; Li et al., 2015).

Мы озадачились вопросом, какой разрешающей способностью обладают данные маркеры в комбинации для разделения и идентификации растений семейства Бобовые в рамках видов, произрастающих во флоре европейского северо-востока России. Для того, чтобы ответить на этот вопрос, нам было необходимо узнать – для всех ли интересующих нас видов семейства Бобовые имеются

маркерные последовательности, так как для использования методов молекулярной систематики необходимо, чтобы данные о маркерных последовательностях ДНК всех исследуемых таксономических единиц имелись в наличии у нас и/или в тех или иных базах генетических данных.

Цель работы – провести ревизию последовательностей генов *rbcL* и *matK* представителей семейства Бобовые (Fabaceae) флоры европейского северо-востока России в базах данных (BOLD, NCBI). Для решения данной цели были поставлены следующие задачи.

1. Составить наиболее полный список представителей семейства Бобовые, произрастающих на территории европейского северо-востока России.

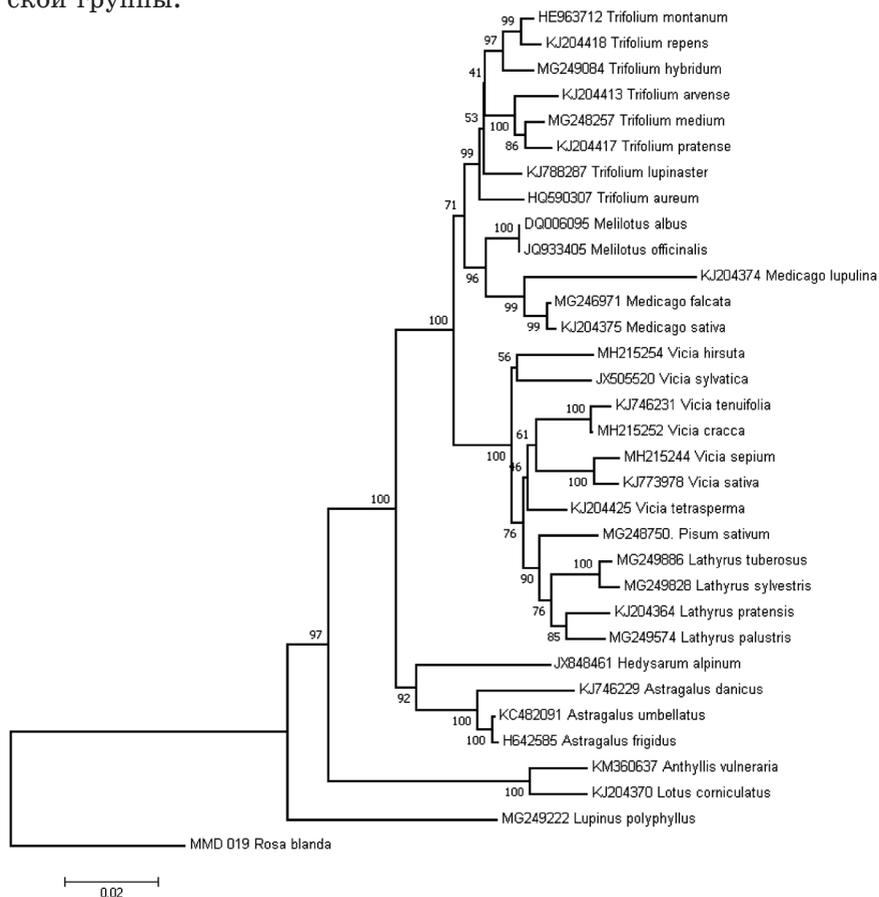
2. Провести скрининг международных баз генетических данных на наличие маркерных последовательностей генов *rbcL* и *matK*.

3. Проанализировать результаты скрининга.

Исходя из задач исследования, мы составили наиболее полный список представителей семейства Бобовые, произрастающих на территории европейского северо-востока России.

Мы провели ревизию двух крупнейших генетических баз данных NCBI (США) и BOLD systems (Канада) по наличию тех или иных маркеров для молекулярной систематики представителей семейства Бобовые. Анализ баз данных показал, что преимущественно в них для большинства интересующих нас видов встречаются хлоропластные гены *rbcL* и *matK*. Данные гены наиболее активно используются в геносистематике и молекулярной паспортизации растений в системе Штрих-код жизни (BOLD systems). Нам удалось обнаружить маркерные последовательности генов *rbcL* и *matK* для 32 из 47 исследуемых видов. Для восьми видов не удалось обнаружить в базах генетических данных один из маркеров, а именно нет информации о последовательности гена *rbcL* для *Lathyrus sylvestris* L., *Lathyrus vernus* (L.) Bernh., *Astragalus norvegicus* Grauer, *Astragalus subpolaris* Boriss. et Schischk., *Oxytropis sordida* (Willd.) Pers. и *Melilotus dentatus* (Waldst. et Kit.) Pers. и о последовательности гена *matK* для *Oxytropis mertensiana* Turcz. Для семи видов нет информации ни об одном из маркеров, а именно *Astragalus gorodkovii* Jurtz., *Chrysoispispadicea* (L.) Greene, *Hedysarum arcticum* B. Fedtsch., *Lathyrus pisiformis* L., *Lotus dvinensis* Min. et Ulle, *Lotus peczoricus* Min. et Ulle и *Oxytropis uralensis* (L.) DC. Из вышеперечисленных видов два являются эндемиками, пять видов занесены в Красную книгу Республики Коми. Данные виды требуют не только охраны, но и всестороннего изучения, в том числе современными методами молекулярно-филогенетического анализа.

Для видов, последовательности генов *rbcL(a)* и *matK* которых имелись в базах данных, мы построили филогенетическое древо. Как видно на представленном филогенетическом древе (см. рисунок), все образцы сгруппировались по родам, а рода в трибы согласно классическим представлениям о систематике растений семейства Бобовые с высокой поддержкой (коэффициент Бутстрепеа 95–100). Это означает то, что данные маркерные последовательности имеют хорошую разрешающую способность для разделения и идентификации представителей исследуемой нами таксономической группы.



Филогенетическое древо растений семейства Бобовые, построенное методом ближайших соседей (NJ) на основании сравнения последовательностей генов *rbcL* и *matK* из баз данных NCBI и BOLD systems.

Данное филогенетическое древо не содержит виды последовательностей, которых нет в генетических базах данных, следовательно, мы не можем посмотреть на всю геносистематику семейства бобовых исследуемой флоры. В связи с этим считаем, что необходимо получить маркерные последовательности для недостающих видов растений семейства Бобовые флоры европейского северо-востока России.

Получение недостающих данных расширит представления о геносистематике изучаемых нами видов, а также позволит исследователям включать данные последовательности в свой анализ.

Работа выполнена в рамках проекта УрО РАН № 18-4-4-23.

ЛИТЕРАТУРА

Cronquist A. The Evolution and Classification of Flowering Plants. – New York Botanical Garden, Bronx, 1988. – 555 p.

Hollingsworth P.M. Refining the DNA barcode for land plants / Proceedings of the National Academy of Sciences USA. – 2011. – Vol. 108. – P. 19451–19452.

Polhill R.M. Evolution and systematics of the Leguminosae / R.M. Polhill, P.H. Raven, C.H. Stirton // Advances in legume systematics. Kew: Royal Botanical Garden, 1981. – P. 1–26.

Li X. DNA barcoding: from gene to genome / X. Li, Y. Yang, R.J. Henry et al. // Plant Biol. Rev. – 2015. – Vol. 90. – P. 157–166.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД НА РОСТ ШТАММА *CHLOROMONAS RETICULATA* (GOROSCHANKIN) ГОБИ (СЫКОА СН-054-11)

Д.А. Постельный¹, И.В. Новаковская², М.Д. Сивков²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: daniilpdp@yandex.ru; novakovskaya@ib.komisc.ru

Водоросли – многообразная и широко распространенная группа фотоавтотрофных организмов. Они способны синтезировать и накапливать биологически активные вещества (БАВ). Их состав и количество в клетке зависит от условий произрастания водоросли. В стрессовых условиях часто наблюдается изменение синтеза некоторых БАВ (Минюк и др., 2008; Чеканов, 2016). В настоящее время ведется активный поиск видов, перспективных для биотехнологических исследований, а также разработка методов культивирования водорослей для получения необходимых БАВ. Большой интерес представляют виды из экстремальных условий произрас-

тания. Одним из таких видов является криофильная водоросль *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi, которая способна синтезировать пигмент астаксантин в природных условиях. Для применения этой водоросли в качестве биотехнологического агента в промышленных масштабах необходима разработка способов культивирования, обеспечивающих оптимальный рост штамма.

Цель работы – определить оптимальные условия роста штамма *Chloromonas reticulata* при культивировании на различных питательных средах. Для этого было выполнено несколько серий экспериментов. В качестве объекта для исследований был выбран альгологически чистый штамм *Chloromonas reticulata*, выделенный из красного снега (показатель pH 5.5–6.2 на глубине снега 0–40 см) на территории Приполярного Урала и содержащийся в коллекции живых культур водорослей Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKOA Ch-054-11). Первая серия экспериментов связана с культивированием водоросли на жидких питательных средах: 3N BBM (pH 5.5), Waris (pH 6.5), BG-11 (pH 6), почвенная вытяжка (pH 5) с добавлением углекислого газа (3–5%) и без него. Эксперимент проводили в 50-миллилитровых флаконах на шейкере в двух повторностях. Для этого в них наливали 35 мл одной из вышеуказанной питательной среды и вносили по 0.11 ± 0.03 г сырой биомассы водоросли (биомасса была заранее выращена на жидкой питательной среде 3N BBM). По окончании эксперимента динамику роста культуры оценивали по следующим параметрам: средние размеры клеток в культуре; биомасса (сырая и сухая) и количество клеток в 1 л (определяли с помощью камеры Горяева и микровесов Mettler Toledo); оптическая плотность культуры (OD) – измеряли с использованием спектрофотометра UV-1700 (Shimadzu). Вторая серия – культивирование на твердых питательных средах. Каждый вариант питательной среды (названия сред приведены выше) разливали в чашки Петри. Затем в каждую чашку добавляли по три капли (объемом 5 мкл) предварительно выращенной культуры *Chloromonas reticulata* из разных серий разведений 100, 10, 1, 0.1, 0.01%. По окончании эксперимента в чашке учитывали число, цвет, длину и ширину колоний в одной капле, а также рассчитывали общую площадь колоний в мм^2 . Число колоний оценивали по числу видимых глазом колоний при максимальном разведении культуры с концентрацией 0.01%. Культивирование водоросли в обоих экспериментах проводили в течение двух недель при температуре 24 °C. Для инициации роста клеток использовали люминесцентную лампу Sylvania GRO-Lux F36W/Gro с плотностью потока фотонов $35 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ на уровне флаконов. Соотношение периодов свет/темнота – 12/12 ч.

Исследование штамма проводили на микроскопах ZeissAxiolab и NikonEclipse 80i при увеличении в 400 и 1000 раз. Измерение клеток выполнено с использованием программы AxioVision (Rel. 4.7.1.).

Chloromonas reticulata – зеленая одноклеточная двужгутиковая водоросль с эллипсоидной или яйцевидной формой клеток, 11–20 мкм в длину и 5–15 мкм в ширину. Вид относится к числу пластичных организмов и имеет широкий ареал распространения.

Основные показатели динамики роста штамма *C. reticulata* при культивировании на жидких питательных средах приведены в табл. 1. В ходе проведения первой серии экспериментов максимальные показатели биомассы и количества клеток в 1 л среды наблюдались при выращивании водоросли на среде BG 11 с углекислым газом (3–5%). Однако высокие значения стандартного отклонения показателей развития водорослей на этой среде свидетельствуют о нестабильном росте культуры. Наибольшие размеры клеток отмечены на этой же среде, но без добавления CO₂.

В ходе проведения второй серии экспериментов наилучшие результаты были получены на среде Waris, Bg 11 и 3N BBM (табл. 2). Суммарная средняя площадь колоний была выше на среде 3N BBM. Наибольшие размеры клеток были на среде BG 11, как и в экспериментах на жидких средах. Почвенная вытяжка показала минимальные значения среднего по числу колоний и занимаемой ими площади. Колонии имели желто-зеленый цвет, в отличие от других питательных сред, где колонии были зеленого цвета.

Как показали исследования, в зависимости от использованной питательной среды изменяются биомасса, размеры, количество, форма, цвет клеток и колоний штамма. Наибольшее влияние на рост культуры в среде оказывают кислотность и содержание азота. Использованные в ходе эксперимента питательные среды содержат этот элемент в основном в виде нитратов. В средах 3N BBM и BG 11 основным источником азота служит NaNO₃. Источниками азота в среде Waris являются нитрат калия, гидрофосфат аммония, нитрат кальция. Химический состав почвенной вытяжки не исследовался. Известно, что горно-тундровые почвы кислые, с низкой степенью насыщенности основаниями, низким содержанием азота, фосфора и других важных биогенных элементов (Атлас..., 2010). Небольшая биомасса, а также количество клеток и колоний на почвенной вытяжке подтверждает это. Кроме того, изменение цвета культуры при выращивании на почвенной вытяжке может свидетельствовать о недостатке азота в питательной среде. При азотном голодании изменяется скорость фотосин-

Таблица 1

Основные показатели динамики роста штамма *Chloctomonas reticulata*
при культивировании на жидких питательных средах

Условия культивирования	Биомасса мг/л	Количество клеток в 1 л, млрд.	OD 680/ 720	OD 470	Клетка		Сухая биомасса мг/л
					Средняя ширина мкм	Средняя длина мкм	
3N BBM	2849±496	3.10	0.0815	0.667	15.11±2.28	10.78±2.1	0.174
3N BBM с CO ₂	4760±902	7.95	0.934	3.436	13.12±2.33	9.34±2.72	1.309
BG 11	2548±438	2.16	0.103	0.638	16.25±2.64	11.77±2.34	0.186
BG 11 с CO ₂	7960±2047	8.69	1.645	3.986	14.18±3.62	11.11±4.23	1.986
WARIS	686±95	1.48	0.065	0.556	12.22±1.62	8.53±1.47	0.157
WARIS с CO ₂	4577±834	6.27	0.263	2.189	12.98±2.29	10.36±1.28	1.289
Почвенная вытяжка	1120±146	3.31	0.114	0.783	12.07±1.52	7.31±1.27	0.151
Почвенная вытяжка с CO ₂	4836±489	8.08	0.082	1.293	13.23±1.24	9.3±1.88	1.394

Таблица 2

Основные показатели динамики роста штамма *Chloromonas reticulata* при культивировании на твердых питательных средах

Условия культивирования	Среднее число колоний	Цвет колоний	Площадь покрытия	Клетка	
				Длина	Ширина
			мм ²	мкм	мкм
3N BBM	44	Зеленый	0.722±0.016	14.55±1.74	10.45±2.15
BG 11	23	Зеленый	0.527±0.023	15.56±1.64	10.81±2.32
WARIS	8	Зеленый	0.547±0.063	13.84±1.24	9.84±1.66
Почвенная вытяжка	2	Желтоватый	0.011±0.006	14.14±1.11	9.61±1.68

Примечание. Приведены показатели, полученные при максимальном разведении культуры с концентрацией 0.01%.

теза, так как происходит разрушение фотосинтетического аппарата, что приводит к накоплению вторичных каротиноидов (Кузнецова и др., 2012). Показатель OD 470, отражающий содержание каротиноидов, для культуры, выращенной на почвенной вытяжке без углекислого газа, имеет наибольшие величины (табл. 1). С введением CO₂ в культуральный флакон показатели изменяются, так как CO₂ увеличивает скорость фотосинтеза и вызывает интенсивный рост культуры при достаточном количестве питательных веществ в среде.

Среда Bg 11 оказалась оптимальной средой для культивирования штамма *C. reticulata*. В обоих экспериментах клетки имели максимальные размеры, наблюдалась высокая биомасса и количество клеток. Такие результаты связываем с тем, что среда содержит большое количество солей азота и имеет pH, близкую к реакции среды талого снега, из которого был выделен штамм. Среда Waris, несмотря на то, что содержит наиболее широкий состав питательных элементов, не показала высоких результатов в ходе проведения эксперимента. Возможно, это связано с тем, что большое количество солей в составе среды вызывает осмотический стресс у клеток. Кроме того, она отличается самыми высокими значениями pH. Среда 3N BBM по сравнению со средой Bg 11 содержит меньшее количество азота.

Исследования выполнены в рамках бюджетной темы № АААА-А19-119011790022-1, а также при частичной финансовой поддержке гранта УрО РАН № 18-4-4-14.

ЛИТЕРАТУРА

Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. – Сыктывкар, 2010. – 356 с.

Кузнецова А.В. Влияние дефицита азота на рост и состояние фотосинтетического аппарата зеленой водоросли *Chlamydomonas reinhardtii* / А.В. Кузнецова, С.И. Погосян, Е.Н. Воронова и др. // Вода: химия и экология. – 2012. – № 4. – С. 68–76.

Минюк Г.С. Одноклеточные водоросли как возобновляемый биологический ресурс: обзор / Г.С. Минюк, И.В. Дробецкая, И.Н. Чубчикова, Н.В. Терентьева // Морской экологический журнал. – 2008. – Т. VII. – № 2. – С. 5–23.

Чеканов К.А. Функционирование фотосинтетического аппарата микроводоросли *Haematococcus pluvialis* (Clorophyceae) при переходе в состояние гематоцисты / К.А. Чеканов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2016. – 15 с.

ЦВЕТЕНИЕ И ПЛОДОНОШЕНИЕ ВИДОВ РОДА *COTONEASTER* MEDIK. В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ НА СЕВЕРЕ

А.Н. Пунегов

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: apunegov@ib.komisc.ru

В целях пополнения культурной дендрофлоры Севера новым ассортиментом древесных растений, используемым в зеленом строительстве городов, в Ботаническом саду Института биологии изучаются биологические особенности видов рода *Cotoneaster* Medik. (Кизильник) семейства *Rosaceae* Juss. (Розоцветные). Род *Cotoneaster* насчитывает около 70 видов растений (Поляркова, 1961), распространенных в умеренных областях Европы, Северной и Центральной Азии и Северной Африки, но центром сосредоточения видового разнообразия является Китай. Во флоре Республики Коми встречаются два вида – *Cotoneaster melanocarpus* Lodd. (кизильник черноплодный) и *C. uniflorus* Bunge. (к. одноцветковый) (Флора северо-востока..., 1976). Растения рода *Cotoneaster* – листопадные или вечнозеленые кустарники, редко небольшие деревца, нетребовательны к почвенным условиям, засухо- и газоустойчивы, хорошо формируются, цветут и плодоносят в разные сроки и сохраняют декоративность в течение всего вегетационного периода.

Коллекция рода *Cotoneaster* в дендрарии Ботанического сада Института биологии к данному моменту насчитывает 13 видов растений, из них у шести отмечается регулярное плодоношение. С момента интродукции растений сотрудниками сада изучены особенности роста, развития и зимостойкости исследуемых видов кизильника в условиях Севера и лишь частично – генеративная сфера. Поэтому актуальным является изучение некоторых аспектов

репродуктивной биологии растений для сохранения коллекции кизильников и для дальнейшего отбора перспективных видов и образцов с целью культивирования их в Республике Коми.

Цель работы – изучение особенностей цветения и плодоношения некоторых видов рода *Cotoneaster* из двух различных секций при интродукции в условиях Севера.

Исследования проводили в дендрарии Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН, расположенном в средне-таежной подзоне Республики Коми. Ботанический сад находится в 8 км на юго-восток от г. Сыктывкара, вблизи с. Выльгорт Сыктывдинского района (61.6° с.ш., 50.8° в.д.). Климатические условия в месте проведения интродукционных исследований достаточно благоприятные для культивирования многих видов древесных растений.

Объектами исследований служили шесть видов и семь образцов растений рода *Cotoneaster*, достигшие генеративного периода развития: *C. horizontalis* Decne. (к. горизонтальный), *C.×hybrida* (*C. uniflorus*×*C. melanocarpus*) – к. гибрид (к. одноцветковый×к. черноплодный), *C. integerrimus* Medik. (к. цельнокрайний), *C. melanocarpus*, *C. niger* (Wahlenberg) Fries (к. черный) и *C. dammeri* Schneider (к. Даммера). При изучении биологии видов в новых почвенно-климатических условиях произрастания использовали общепринятые методики исследования древесных растений при интродукции.

Род *Cotoneaster* состоит из двух секций – *Orthopetalum* Koehne и *Chaenopetalum* Koehne, отличающихся положением лепестков, их окраской и другими признаками цветка (Гревцова, Казанская, 1997).

Наличие цветения и плодоношения является наиболее существенным признаком адаптации растений к почвенно-климатическим условиям района интродукции.

В дендрарии цветение кизильников наблюдается с конца мая и продолжается до середины июля. Первыми цветут виды секции *Orthopetalum*, начиная с местного вида *C. melanocarpus* – 30.V±4 дня и заканчивая *C. horizontalis* – 22.VI±3 дня. Цветение видов этой секции начинается в разные сроки и отличается по продолжительности: самое длительное цветение – 34±2 дня у *C. niger*, а наиболее короткое – 11±1 день у *C.×hybrida*. Около 26–29 дней цветут *C. melanocarpus* и *C. integerrimus*: цветение растений данных видов длительное и неравномерное вследствие растянутого периода бутонизации, в результате которого одни цветки только распускаются, а другие уже отцветают. Наиболее обильное и короткое цветение (17±5 дней) у *C. horizontalis*. В целом, продолжи-

тельность цветения растений разных видов секции *Orthopetalum* составляет от 11 до 34 дней. Позже других в условиях интродукции начинает цвести *C. dammeri* из секции *Chaenopetalum*. Его соцветия распускаются в третьей декаде июня и окончание цветения наблюдается через 19 ± 5 дней. Все изученные виды кизильников декоративны в фазу цветения, но особенно – виды восточноазиатской флоры (*C. dammeri*, *C. horizontalis*) в период массового цветения.

Исследуемые растения рода *Cotoneaster* характеризуются регулярным плодоношением. Массовое созревание плодов у *C. melanocarpus*, *C. niger*, и *C. integerrimus* отмечено в конце августа–начале сентября, а у *C. horizontalis*, *C. ×hybrida* и *C. dammeri* – в конце сентября–начале октября. Сеянцев растений от естественного возобновления в дендрарии не обнаружено. Проведенный эксперимент по грунтовой всхожести семян местной репродукции не дал положительных результатов, вероятно, из-за длительного периода покоя, в котором находятся семена кизильников. Однако у изученных видов отмечена высокая семенная продуктивность, которая составляет для первого и второго образцов *C. melanocarpus* соответственно 3840 ± 12 и 4524 ± 14 шт. семян/особь; *C. ×hybrida* – 4156 ± 14 , *C. integerrimus* – 1728 ± 20 , *C. horizontalis* – 924 ± 20 и *C. dammeri* – 815 ± 15 шт. семян/особь.

Таким образом, изучение особенностей репродуктивной биологии видов *Cotoneaster* в условиях подзоны средней тайги Республики Коми выявило различия в сроках прохождения основных фенологических фаз у исследуемых видов. Ранние сроки начала цветения и плодоношения отмечены у *C. integerrimus*, *C. niger* и *C. melanocarpus*, более поздние – у *C. horizontalis*, *C. ×hybrida* и *C. dammeri*. Растения всех изученных видов кизильников характеризуются ежегодным плодоношением. Семенная продуктивность изменяется от 4524 ± 14 (*C. melanocarpus*) до 815 ± 15 шт. (*C. dammeri*). Кроме того, все представленные виды высокодекоративны и могут найти применение в озеленении городов Республики Коми.

Работа проводилась на базе УНУ «Научная коллекция живых растений» Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН, Рег. № 507428. Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Закономерности процессов репродукции ресурсных растений в культуре на европейском Северо-Востоке» № АААА-А17-117122090004-9.

ЛИТЕРАТУРА

Гревцова А.Т. Кизильники в Украине / А.Т. Гревцова, Н.А. Казанская. – Киев: Нива, 1997. – 192 с.

Пояркова А.И. Новые виды кизильника для флоры Советского Союза и Китая / А.И. Пояркова // Ботанические материалы Гербария Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР. – Л., 1961. – Т. XXI. – С. 161–205.

Флора северо-востока европейской части СССР. – Л.: Наука, 1976. – Т. III. – 296 с.

СИСТЕМАТИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИДОВ РОДА *LAGOTIS* В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

А.С. Фадеев¹, О.Е. Валуйских²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: fadeew.alex@mail.ru

Род *Lagotis* Gaertn. – евразийский арктоальпийский род травянистых цветковых растений семейства норичниковые (Scrophulariaceae), распространенных в горных районах Сибири, Закавказья, Средней и Центральной Азии, Гималаях. Для территории Республики Коми указываются два вида из рода *Lagotis* – *L. minor* (Willd.) Standl. и *L. uralensis* Schischk. (Иванина, 1981; Выдрина, 1996).

Первый вид – *L. minor* – многолетнее короткокорневищное растение, широко распространенное в арктических областях Северо-Восточной Европы, Сибири и Дальнего Востока, западной части Северной Америки. Вид включен в Красную книгу Ненецкого автономного округа (2006) как редкий, находящийся на западной границе распространения. В других регионах не охраняется. Второй вид – *L. uralensis* – высокогорный эндемик, произрастающий на Приполярном, Северном, Среднем и Южном Урале (Горчаковский, Шурова, 1989; Лавренко и др., 1995; Красная книга..., 2009).

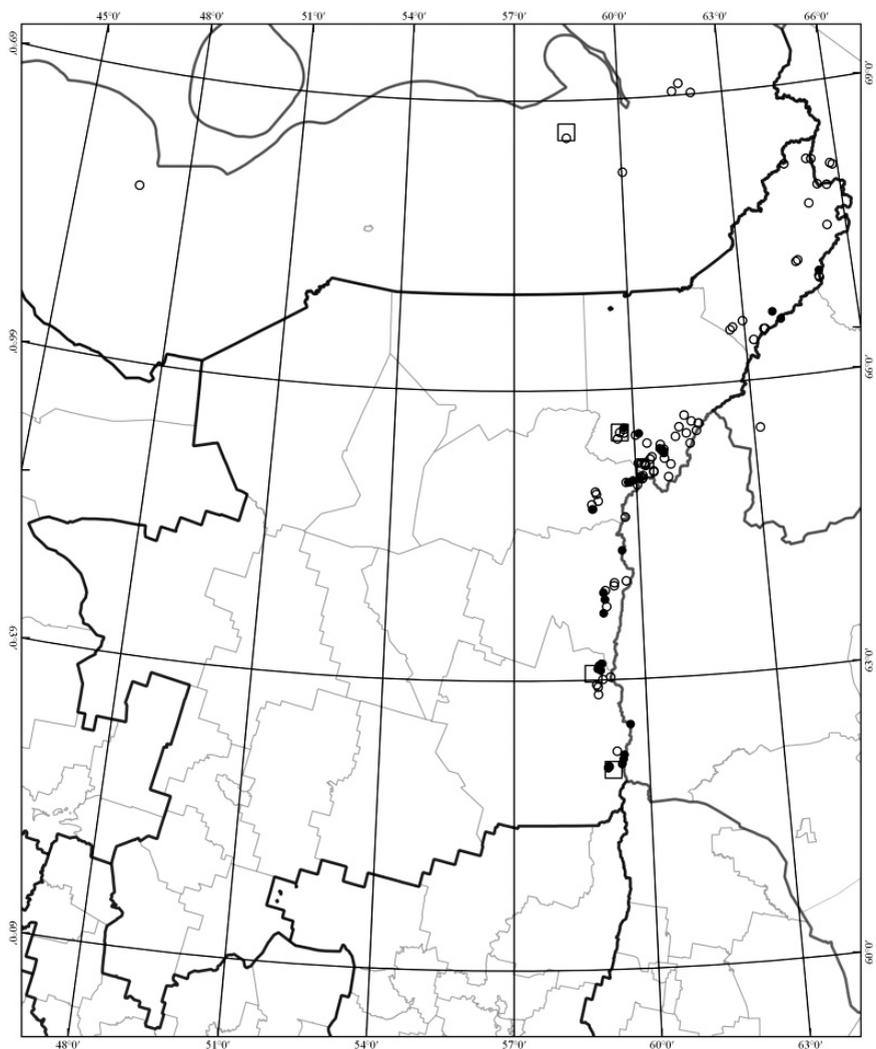
Цель работы – уточнить систематику и распространение двух видов *L. minor* и *L. uralensis* в Республике Коми. Задачи: 1) проанализировать научную литературу и уточнить диагностические признаки, по которым разделяют эти два вида; 2) провести ревизию материалов Гербария Института биологии Коми НЦ УрО РАН и уточнить видовую принадлежность образцов; 3) изучить распространение *L. minor* и *L. uralensis* в Республике Коми и подготовить карту-схему ареалов этих видов.

В ходе исследования была проведена ревизия представителей рода *Lagotis*, хранящихся в гербарии Института биологии Коми НЦ УрО РАН (SYKO), с анализом всех растений на предмет со-

ответствия основным таксономическим признакам, разделяющим два вида. Каждому образцу был присужден идентификационный номер. По гербарным этикеткам были уточнены географические координаты местообитаний, где были собраны растения. Для этого использовались наборы поисковых картографических приложений «Яндекс.Карты» и «Google Maps». **Важно отметить, что в некоторых случаях координаты были определены с низкой точностью – это обусловлено невысокой детерминированностью, свойственной описаниям местообитаний, сделанным в начале и середине XX в. Информация о пространственном расположении была занесена в сводную таблицу, созданную с помощью программы Microsoft Excel 2013. По полученным координатам была построена карта-схема распространения *L. minor* и *L. uralensis* в Республике Коми и на сопредельных территориях. Дополнительно были использованы данные гербария Института экологии растений и животных УрО РАН (SVER) и Московского цифрового гербария МГУ (MW). Работа была осуществлена с использованием программы QGIS 2.18.28, метод картирования точечный, векторную основу составили данные открытой веб-карты «OpenStreetMap».**

В работе были проанализированы гербарные сборы с территории Республики Коми по основным диагностическим признакам, на которые следует опираться при разграничении *L. minor* и *L. uralensis*. Ими являются длина тычиночных нитей и положение столбика по отношению к верхней губе венчика (Говорухин, 1937; Шишкин, 1955; Викулова, Шишкин, 1955; Лашенкова, 1962; Иванина, 1977, 1981; Выдрина, 1996 и др.). У *L. uralensis* пыльники сидячие или на очень коротких нитях (до 1.1 мм), и столбик пестика обычно не выдается из венчика. У *L. uralensis* тычиночные нити длиной около 2 мм и более, а столбик выдается из трубки венчика (превышает верхнюю губу). Остальные признаки, такие как форма листовой пластинки прикорневых листьев и соцветия, высота генеративного побега, окраска венчика, форма верхней и нижней губы венчика рассматриваются как дополнительные.

Мы проанализировали 127 образцов (88 – *L. minor*, 34 – *L. uralensis*) двух видов *Lagotis*, хранящихся в гербарии Института биологии Коми НЦ УрО РАН, и подготовили карту-схему распространения двух видов на территории Республики Коми (см. рисунок). Некоторые гербарные сборы были переопределены. Для пяти образцов, сочетающих в себе основные диагностические признаки обоих видов, определить видовую принадлежность было затруднительно, и мы обозначили их на карте как *L. minor* → *L. uralensis*. Карта-схема отражает перекрытие ареалов двух видов растений на



0 75 150 225 300 км

Условные обозначения

- *Lagotis uralensis* Schischk.
- *Lagotis Stelleri* Ch. Et. Schl.
- *L. minor* — *L. uralensis*

Карта-схема распространения *Lagotis minor* (Willd.) Standl. и *Lagotis uralensis* Schischk. в Республике Коми и на сопредельных территориях.

территории Республики Коми и расширяет представление о распространении уральского эндемика *L. uralensis* на Полярном Урале. По мнению П.В. Куликова (2005), *L. uralensis* сформировался на основе межвидовой гибридизации арктического *L. minor* и южносибирского *L. integrifolia* с последующей стабилизацией продуктов в условиях высокогорий Урала. Поэтому для дальнейшей работы необходимо пополнение сведений о распространении, эколого-фитоценотической приуроченности *L. minor* и *L. uralensis* на Урале, также интересно исследование этих видов с применением популяционных и молекулярно-генетических методов.

Работа выполнена в рамках государственного задания (№ АААА-А19-119011790022-1) и проекта УрО РАН № 18-4-4-23.

ЛИТЕРАТУРА

Викулова Н.В. Род Лаготис – *Lagotis Gaertn.* / Н.В. Викулова, Б.К. Шишкин // Флора СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1955. – Т. 22. – С. 500–511.

Выдрина С.Н. *Lagotis Gaertner* – Лаготис // Флора Сибири: *Scrophulariaceae*. – Новосибирск: Наука, 1996. – Т. 12. – С. 48–49.

Говорухин В.С. Флора Урала. Определитель растений, обитающих на горах Урала и в его предгорьях от берегов Карского моря до южных пределов лесной зоны. – Свердловск, 1937. – С. 459–460.

Горчаковский П.Л. Редкие и исчезающие растения Урала и Приуралья / П.Л. Горчаковский, Е.А. Шурова. – М.: Наука, 1982. – 208 с.

Иванина Л.И. Род *Lagotis Gaerth.* – Лаготис // Флора северо-востока европейской части СССР: Т. IV. Семейства *Umbelliferae*–*Compositae*. – Л., 1977. – С. 113.

Иванина Л.И. Род Лаготис – *Lagotis Gaertn* // Флора европейской части СССР. – Л.: Наука, 1981. – Т. V. – С. 240–241.

Красная книга Республики Коми // Под ред. А.И. Таскаева. – Сыктывкар, 2009. – 791 с.

Куликов П.В. Конспект флоры Челябинской области (сосудистые растения) / П.В. Куликов. – Екатеринбург-Миасс: «Геотур», 2005. – 537 с.

Лавренко А.Н. Флора Печоро-Илычского биосферного заповедника / А.Н. Лавренко, З.Г. Улле, Н.П. Сердитов. – СПб.: Наука, 1995. – 256 с.

Лащенко А.Н. Определитель высших растений Коми АССР / Под ред. А.И. Толмачева. – М.-Л., 1962. – С. 294–295.

Шишкин Б.К. Новые виды рода *Lagotis Gaertn.* // Ботанические материалы гербария Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР. – М.-Л., 1955. – Т. XVII. – С. 380–382.

Секция 2
ИЗУЧЕНИЕ, ОХРАНА
И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ЖИВОТНОГО МИРА

ПЕРСПЕКТИВЫ КОНФОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ МИКРОСКОПИИ
В ИССЛЕДОВАНИИ ВЕСЛОНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ (СОРЕРОДА)

И.Ю. Зайдыков¹, Т.Ю. Майор¹, И.О. Велегжанинов², Е.Б. Фефилова²

¹ Лимнологический институт СО РАН

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: igorrock11@mail.ru

Веслоногие ракообразные образуют древнюю и многочисленную группу ракообразных. Представители Copepoda встречаются в самых разнообразных местах обитания (пресная и морская вода, влажная почва, подземные воды и др.) при различных температурных и солевых режимах (Huys, Boxshall, 1991). Одной из особенностей эволюции Copepoda является криптическое видообразование (Karanvic, Krajicek, 2012; Sukhikh, Alekseev, 2015; Kochanova et al., 2018). Выявляют виды-двойники обычно случайно в ходе молекулярно-генетического анализа, переписание новых видов предполагает исследование тонких морфологических признаков с помощью современных методов микроскопии: сканирующей электронной и лазерной конфокальной.

Биологическим материалом в нашей работе служили зафиксированные в спирте циклопы *Diacyclops* sp. и зафиксированные в формалине гарпактициды *Baicalocamptus longifurcatus* (Borutzky, 1947), промытые от фиксатора в дистиллированной воде. Окрашивание проводилось в водорастворимом красителе «конго красный» в течение 24 ч при комнатной температуре (Michels, Buntzow, 2010). Окрашенный объект (целая особь или ее части) препарировали и анализировали в капле глицерина с помощью конфокального лазерного микроскопа Carl Zeiss LSM 710 (Zeiss, Germany) при следующих характеристиках: линзы 20×/0.8 и 63×/1.40 с иммерсионным маслом; фильтры 570–670 нм; лазер 561 нм. Для ска-

нирующей электронной микроскопии *Diacyclops* sp. выдерживали последовательно в 96% - и 99% -ном этаноле, 100% -ном гексаметилдисилоксане, высушивали при комнатной температуре, покрывали золотом и исследовали с помощью микроскопа Quanta 200 (FEI, USA).

Полученные микрофотографии с помощью сканирующей электронной и конфокальной лазерной микроскопии представителей Harpacticoida и Cyclopoida позволили выявить тонкие признаки, такие как орнаментация базиподитов антеннул, антенн, плавательных ног, каудальных ветвей, структуру края абдоминальных сегментов, структуру хитинового покрова и наличие пор. Сравнение двух методов микроскопии позволило сделать вывод о том, что конфокальная лазерная микроскопия веслоногих ракообразных является доступной рутинной процедурой. Преимуществами данного метода являются скорость и простота окрашивания особей, возможность их анализа вне зависимости от способа фиксации (спирт, формалин, без фиксации), возможность манипуляции с объектом во время проведения микроскопического исследования, сохранение рачков в коллекции и возможность их использования в качестве типового материала.

Исследование проводилось при финансовой поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта № 18-34-00200 мол-а и темы государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН АААА-А17-117112850235-2. Исследование проводилось в приборном центре «Электронная микроскопия» ЦКП «Ультрамикроанализ» ЛИН СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Huys R. Copepod evolution/ R. Huys, G.A. Boxshall. – Ray Society, London. – 1991. – 468 p.

Michels J. Assesment of Congo red as a fluorescence marker for the exoskeleton of small crustaceans and the cuticle of polychates / J. Michels, M. Büntzow // Journal of Microscopy. – 2010. – V. 238. – P. 95–101. DOI: 10.1111/j.1365-2818.2009.03360

Karanovic T. First molecular data on the western Australian *Diacyclops* (Copepoda, Cyclopoida) confirm morho-species but question size differentiation and monophyly of the *Alticola*-group / T. Karanovic, M. Krajicek // Crustaceana. – 2012. – V. 85. – P. 1549–1569.

Kochanova E.S. Morphological and Molecular-Genetic Polymorphism of *Canthocamptus staphylinus* Jurine (Harpacticoida, Copepoda, Crustacea) / E.S. Kochanova, E.B. Fefilova, N.M. Sukhikh et al. // Inland Water Biology. – 2018. – V. 11. – N 2. – P. 111–123.

Sukhikh N. Genetic and morphological heterogeneity within *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851) (Crustacea: Copepoda: Cyclopidae) / N. Sukhikh, V. Alekseev // Journal of Natural History. – 2015. – V. 49. – P. 2929–2953. DOI: 10.1080/00222933.2015.1056267

**ЛИПОВАЯ МОЛЬ-ПЕСТРЯНКА *PHYLLONORYCTER ISSIKII*
(LEPIDOPTERA, GRACILLARIIDAE) В ГОРОДЕ КИРОВЕ****В.В. Зиновьев**

Вятский государственный университет

E-mail: vladislavzinovjev@yandex.ru

Одной из современных экологических проблем, которая затрагивает устойчивость экосистем разного уровня, является вторжение чужеродных видов живых организмов. Примером относительно недавнего вселения служит липовая моль-пестрянка – *Phyllonorycter issikii* из семейства *Gracillariidae*. Эта моль была описана в 1963 г. японским энтомологом Тосио Кумата (Kumata, 1963). Естественный ареал этого вида охватывает Японию, Корею, восток Китая и юг российского Дальнего Востока (Кириченко, 2013).

Первые моли появляются на стволах липы в начале и середине мая при среднесуточной температуре воздуха около 10 °С для того, чтобы спариться. Самки откладывают за свою жизнь от 10 до 52 яиц, которые размещают одиночно на нижнюю поверхность листа. Развитие в яйце длится две недели. Гусеницы имеют пять возрастов. Представители первого вгрызаются в мезофилл листа и образуют змеевидную часть мины. Затем происходит формирование пятновидной части, которая постепенно разрастается и поглощает змеевидную. В результате образуются овальные складчатые мины на нижней стороне листа (Беднова, Белов, 1999). Замечено, что самки последовательно выбирают сначала биотоп, затем растение-хозяина, отдельный лист и только потом место на листе. Количество мин на листе связано с его площадью. Увеличение плотности заселения липы минером приводит к увеличению площади мины (Ермолаев, Мотошкова, 2007).

В европейской части России одна из самых ранних находок была сделана в 1985 г. в Москве (Беднова, Белов, 1999), затем этот вид распространился в сторону Западной Сибири и Восточной Европы. Сейчас липовая моль-пестрянка обитает практически на всей европейской части России, а также локально встречается и в Западной Сибири и Дальнем Востоке. В Европе площадь ареала составила 4 млн. км² и увеличивается примерно на 42.2 км в год (Ермолаев, Рублева, 2017).

В литературе обсуждают два возможных сценария распространения липовой моли-пестрянки в европейской части России. Согласно первому, появление минера произошло с интродукцией растений. Из трех видов лип, растущих на российском Дальнем

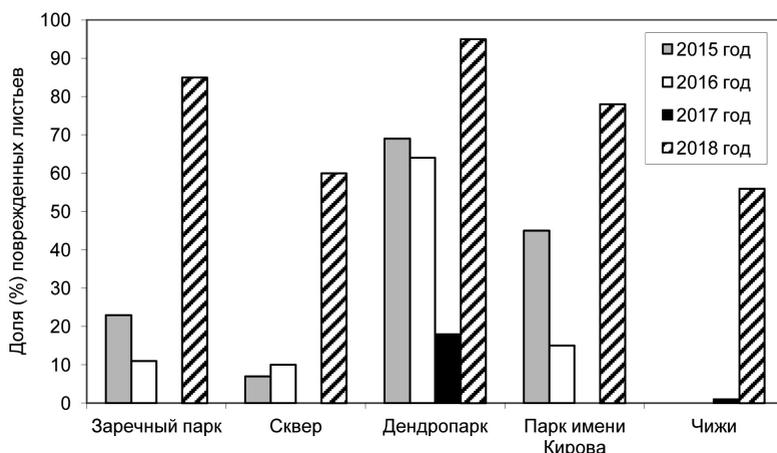
Востоке, два успешно интродуцированы в европейской части России (Ермолаев, Рублева, 2017). Согласно второму, интродукция минера произошла с транзитным грузом, пришедшим с Дальнего Востока, возможно как с железнодорожным, так и авиационным транспортом (Ермолаев, Рублева, 2017). В Кировской области этот вид был отмечен в заказнике «Бушковский лес» (Пестов, 2014) и в заповеднике «Нургуш» (Целищева, 2015).

Цель работы – обобщение данных о состоянии популяции липовой моли-пестрянки в городской среде г. Кирова. Сбор материала проводился в сентябре 2015–2018 гг. на пяти участках. С каждого участка отбирали по 100 листьев из нижней части кроны с разных сторон дерева.

На территории г. Кирова выбрали пять участков. 1) парк им. С.М. Кирова находится в жилотной зоне города; 2) дендропарк им. лесоводов Кировской области является памятником природы и располагается между Казанским трактом и берегом р. Вятки. Здесь представлена уникальная коллекция древесных пород. В его пределах сохранились естественные участки еловых лесов. Общая площадь парка составляет 49.4 га; 3) сквер на перекрестке улиц Воровского и Чапаева – дворовый участок, находящийся в центре города и характеризующийся интенсивным движением автомобильного транспорта; 4) Заречный парк представляет собой редкий образец пойменного соснового бора, однако в нем встречаются и лиственные породы деревьев. Общая площадь 465.4 га. Находится на значительном расстоянии от промышленного района города, объявлен памятником природы с 1962 г.; 5) слобода Чижи расположена вблизи автодорожной магистрали, соединяющей Нововятский район с основной частью города.

Липовая минирующая моль-пестрянка была отмечена на всех участках. Максимальная степень повреждения этим вредителем наблюдалась в парковых насаждениях, особенно высока была ее численность в дендропарке (см. рисунок). На участках уличного озеленения в сквере на перекрестке улиц Воровского и Чапаева и в слободе Чижи численность минирования мала относительно особо охраняемых природных территорий.

За четыре года наименьшая повреждаемость была отмечена в 2017 г. Это объясняется неблагоприятными погодными условиями. Этот год был самым влажным и холодным (см. таблицу), в связи с чем численность популяции липовой моли-пестрянки была на низком уровне на протяжении всего сезона. Это наблюдение подтверждает, что наиболее комфортная температура для спаривания липовой моли-пестрянки находится на уровне 10 °С (Беднова, Белов, 1999). Самая высокая степень повреждения отмеча-



Доля поврежденных листьев липы липовой молью-пестрянкой в г. Кирове, %.

лась в 2018 г. Год был умеренно теплым и характеризовался высоким количеством осадков. Быстрое восстановление численности после сильного спада наблюдалось в 2010–2012 гг. В 2011 г. численность моли снизилась до минимальных значений после аномально жаркого 2010 г., в 2012 г. степень повреждения достигла 100%. Можно говорить о компенсационном восстановлении численности после снижения под воздействием пессимальных значений факторов.

Таким образом, наиболее важными факторами, определяющими численность липовой моли-пестрянки, являются уровень антропогенного изменения и погодно-климатические условия территории. Наибольшее число повреждений во все годы наблюдения отмечалось в парковых насаждениях. Это, вероятно, связано с меньшим уровнем антропогенной нагрузки на этих террито-

Средние погодные показатели на территории г. Кирова в период с 15.03 по 20.05 (данные сайта www.rp5.ru)

Год	Средняя температура, °С	Относительная влажность, %	Количество выпавших осадков, мм	Дата перехода средней температуры через +10 °С
2015	+9.0	61	56	27.04
2016	+10.4	58	17	13.04
2017	+4.8	70	112	19.05
2018	+7.7	62	88	28.04

риях, чем на остальных. Значительное снижение численности моли-пестрянки в 2017 г. наблюдали на всех участках мониторинга. В 2018 г. повсеместно отмечали массовые повреждения минами. Исчезновение липовой моли-пестрянки в 2017 г. под влиянием погодных факторов подтверждает мнение о том, что на настоящий момент во многих регионах европейской части России липовая моль-пестрянка не прошла стадию становления. Также аномальная вспышка численности вредителя после неблагоприятного периода свидетельствует о компенсаторных механизмах численности популяции насекомого. Чтобы получить наиболее полную информацию о дальнейшем состоянии популяции липовой моли-пестрянки, необходимо продолжить мониторинг этого вида. Результаты проведенной работы подтверждают мнение других авторов (Ермолаев, Зорин, 2011) о необходимости создания системы мониторинга популяций *Phyllonorycter issikii*.

ЛИТЕРАТУРА

Беднова О.В. Липовая моль-пестрянка (Lepidoptera, Gracillariidae) в зеленых насаждениях Москвы и Подмосковья / О.В. Беднова, Д.А. Белов // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. – 1999. – № 2. – С. 172–177.

Ермолаев И.В. Анализ фитосанитарного риска липовой моли-пестрянки / И.В. Ермолаев, Д.А. Зорин // Защита и карантин растений. – 2011. – № 10. – С. 28–29.

Ермолаев И.В. Биологическая инвазия липовой моли-пестрянки *Lithocolletis issikii* Kumata (Lepidoptera, Gracillariidae): особенности взаимоотношения минера с кормовым растением / И.В. Ермолаев, Н.В. Мотшкова // Энтомологическое обозрение. – 2008. – Т. 87, № 1. – С. 15–25.

Ермолаев И.В. История, скорость и факторы инвазии липовой моли-пестрянки *Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963) (Lepidoptera, Gracillariidae) в Евразии / И.В. Ермолаев, Е.А. Рублева // Российский журнал биологических инвазий. – 2017. – № 1. – С. 2–19.

Кириченко Н.И. Липовая моль-пестрянка *Phyllonorycter issikii* в Западной Сибири: некоторые экологические характеристики популяции недавнего инвайдера / Н.И. Кириченко // Сибирский экологический журнал. – 2013. – Т. 20, № 6. – С. 813–822.

Пестов С.В. К фауне членистоногих заказника «Бущковский лес» / С.В. Пестов // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Киров, 2014. – Кн. 1. – С. 207–210.

Целищева Л.Г. Распространение липовой моли-пестрянки (*Phyllonorycter issikii* Kumata) в заповеднике «Нургуш» / Л.Г. Целищева // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Киров, 2015. – Кн. 1. – С. 140–144.

**МЕЖВИДОВАЯ И ВНУТРИВИДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ТЕМПОВ РОСТА РАКОВИН ЖЕМЧУЖНИЦ СЕВЕРНОЙ ПАЛЕАРКТИКИ****М.Б. Кабаков**

ФИЦ комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова РАН

E-mail: *mike-kab@yandex.ru*

Выявление закономерностей относительного роста жемчужниц имеет большое значение для изучения жизненного цикла представителей этого рода. Раковины двустворчатых моллюсков характеризуются наличием годовых колец, образующихся в результате зимней задержки роста. Измерение длин годовых колец позволяет получить данные по индивидуальному линейному росту. На основании этих данных можно проводить анализ особенностей и закономерностей роста моллюсков в пределах одной популяции, а также при сравнительных межпопуляционных исследованиях (Зотин, Озернюк, 2006).

В нашем исследовании будут рассмотрены три вида жемчужниц: *Margaritifera margaritifera* (L., 1758), или жемчужница европейская и два вида, обитающих в реках Дальнего Востока России: *Margaritifera middendorffi* (Rosen, 1926) и *Margaritifera laevis* (Haas, 1910).

Створки раковин *M. margaritifera* были собраны в период с 2004 по 2018 г. в реках Архангельской и Ленинградской областей и Республике Карелия. Отбор проб раковин двух других видов жемчужниц производился в семи реках Дальнего Востока России в 2011–2012 гг.

Для измерения и точного определения годовых колец верхний конхиолиновый слой удалялся путем кипячения створок раковин в 1 М растворе КОН в течение 15 мин. У каждой раковины были измерены длины последовательных годовых колец, начиная с первого различимого кольца, с помощью штангенциркуля с точностью 0.1 мм. У каждой раковины было измерено не менее 15 колец. Для описания роста моллюска было применено уравнение Бергаланфи:

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)}),$$

где L_t – длина годового кольца для возраста t . Коэффициент L_{∞} определяет предельную длину раковины, коэффициент k – скорость нарастания массы и часто называется константой роста (Зотин, 2009).

Статистический анализ биометрических данных проводили стандартными методами (Пузаченко, 2004). Расчеты выполнялись с использованием пакетов «Growth II», «Statistica» версии 10.0 и «Microsoft Excel» версии 2010.

Исследования выполнены с использованием коллекции УНУ «Российский музей центров биоразнообразия» (г. Архангельск).

Для построения моделей было измерено более 2500 годовых колец у 60 раковин *M. margaritifera*, 46 образцов раковин *M. middendorffi* и 45 створок *M. laevis*. Полученные значения показателей роста представлены в таблице.

В работе G. Bauer (1992) была показана обратная зависимость коэффициента роста k и продолжительности жизни *M. margaritifera*, т.е. чем меньше значение коэффициента роста, тем выше продолжительность жизни и, следовательно, увеличивается количество глосидий, производимых одной самкой в течение жизни. Это утверждение справедливо и для дальневосточных видов жемчужниц. Таким образом, полученные значения для популяций *M. margaritifera* из р. Пейпия (Ленинградская область) и *M. laevis* из р. Тымь (о-в Сахалин) говорят о высокой угрозе вымирания обеих популяций, что требует дополнительного внимания и повышенной охраны.

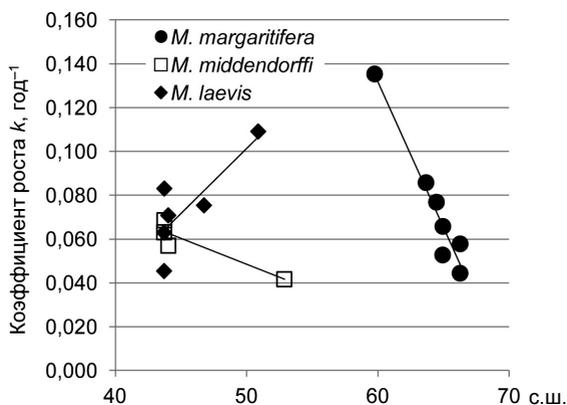
Медианные значения коэффициентов уравнения Бергаланфи для популяций *Margaritifera margaritifera*, *M. middendorffi* и *M. laevis* из рек европейского Севера и Дальнего Востока России

Район	Водоток	Координаты (с.ш.)	L_{∞}	SD	k	SD
<i>Margaritifera margaritifera</i>						
Архангельская область	Малошуйка	63.68	112.25	9.49	0.086	0.023
	Солза	64.48	110.82	17.19	0.077	0.024
	Каменный	64.95	121.31	11.57	0.053	0.013
	Жемчужный	64.97	132.93	21.90	0.066	0.022
Карелия	Муткайоки	66.28	119.05	27.13	0.058	0.019
	Кереть	66.27	140.86	20.27	0.044	0.024
Ленинградская область	Пейпия	59.77	105.88	10.87	0.135	0.011
<i>Margaritifera middendorffi</i>						
Полуостров Камчатка	Начилова	52.89	100.60	33.08	0.042	0.013
Остров Кунашир	Головнина	43.75	86.49	17.46	0.069	0.030
	Серебрянка	44.05	96.46	21.23	0.057	0.030
	Сенная	43.73	113.58	20.34	0.063	0.017
<i>Margaritifera laevis</i>						
Остров Сахалин	Лютога	46.77	118.46	15.52	0.075	0.025
	Тымь	50.9	108.75	26.80	0.109	0.043
Остров Кунашир	Головнина	43.75	88.78	15.78	0.083	0.031
	Серебрянка	44.05	114.87	23.64	0.071	0.029
	Сенная	43.73	127.09	23.96	0.045	0.017
	Рикорда	43.73	116.05	3.53	0.063	0.007

Анализ индивидуального роста раковин жемчужницы европейской подтверждает полученные ранее данные о снижении значения коэффициента роста раковины с увеличением широты обитания популяции (Зотин, Иешко, 2017). Похожая ситуация наблюдается для значений коэффициента роста для популяций жемчужницы Миддендорфа. Однако, для популяций *M. laevis* коэффициент роста из уравнения Берталанфи имеет тенденцию к возрастанию в зависимости от широты места обитания в направлении с юга на север (см. рисунок). Данная зависимость идет вразрез со сложившимися представлениями о росте пресноводных жемчужниц и требует дальнейшего исследования.

Медианное значение предельной длины раковины популяций *M. margaritifera*, равное 119.05 мм, значительно превышает аналогичные значения для популяций жемчужницы Миддендорфа (98.53 мм) и гладкой жемчужницы (115.46 мм). Кроме того, анализируя полученные значения коэффициента роста, можно сделать вывод об относительно близких значениях скорости роста раковин у двух видов. Так, медианное значение коэффициента роста k для популяций *M. margaritifera* (не учитывая аномально высокое значение у популяции из р. Пейпия) и *M. middendorffi* равны 0.062 и 0.060 год⁻¹ соответственно. Для популяций *M. laevis* медианное значение незначительно выше и равно 0.073 год⁻¹.

В некоторых реках Дальнего Востока России жемчужницы Миддендорфа и гладкие жемчужницы обитают по соседству, что позволяет сравнить рост двух видов в одинаковых условиях внешней среды. Так, медианные значения предельной длины ракови-



Зависимость коэффициентов роста k из уравнения Берталанфи для популяций трех видов жемчужниц от широты местообитания.

ны популяций *M. laevis* для рек Сенная, Серебрянка и Головнина о-ва Кунашир значительно выше аналогичного показателя для соседствующих с ними популяций *M. middendorffi*. Рассматривая значения k для двух видов, можно отметить наиболее высокую скорость роста для популяций гладкой жемчужницы из рек Серебрянка (0.071 год^{-1}) и Головнина (0.083 год^{-1}) относительно соседствующего с ними вида (0.057 и 0.069 год^{-1} соответственно). Напротив, для популяций из р. Сенная наблюдается меньшая скорость роста у *M. laevis* (0.045 год^{-1}) по сравнению с аналогичным показателем для популяции *M. middendorffi* (0.063 год^{-1}).

Все три вида жемчужниц, рассматриваемые в нашем исследовании, внесены в Красную книгу России и требуют особого внимания и повышенной охраны. Исследование морфологической изменчивости раковин этих редких видов в различных условиях местообитаний представляется актуальным в свете изучения их адаптивных возможностей, что позволит сохранить эти уникальные виды для будущих поколений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 0409-2019-0041), Президиума РАН № 55 «Арктика – научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития», гранта РФФИ (№ 18-34-20033_мол_а_вед), РНФ (№ 18-77-00058).

ЛИТЕРАТУРА

Зотин А.А. Ретроспективный анализ влияния среды на параметры роста беломорских мидий *Mytilus edulis* / А.А. Зотин, Н.Д. Озернюк // Известия РАН: Сер. биол. – 2006. – № 6. – С. 762–766.

Зотин А.А. Закономерности роста и энергетического обмена в онтогенезе моллюсков: Дис. ... д.б.н. – М., 2009.

Зотин А.А. Сравнительный анализ роста *Margaritifera margaritifera* (Bivalvia) из разных популяций Карелии и Кольского полуострова / А.А. Зотин, Е.П. Иешко // Известия РАН: Сер. биол. – 2017. – № 1. – С. 1–5.

Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 416 с.

Bauer G. Variation in life span and size of the freshwater pearl mussel / G. Bauer // J. Animal Ecol. – 1992. – V. 61. – P. 425–436.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA, RHOPALOCERA) ЛУГОВЫХ МЕСТООБИТАНИЙ ЮЖНОЙ ТАЙГИ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Мазеева, О.И. Кулакова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: mazeeva@ib.komisc.ru

Булавоусые, или дневные чешуекрылые на территории современной Кировской области несмотря на весьма длительную историю изучения во многих аспектах исследованы недостаточно полно. Данные о биотопическом распределении видов, содержащиеся в работах Л.К. Круликовского (1909), А.Н. Чарушиной (1971, 1974), С.П. Решетникова (2015), фрагментарны.

Имеющиеся в литературе материалы по фауне и экологии булавоусых чешуекрылых на сопредельных территориях (Республики Коми и Архангельской области) охватывают преимущественно подзоны северной и средней тайги (Татаринов, 2001, 2018). Южнотаежная фауна булавоусых чешуекрылых европейской части России, заслуживающая особого внимания ввиду характерного для нее экотонного эффекта из-за расположения между таежными и суббореальными биомами, изучена крайне слабо и требует дополнительного и углубленного исследования.

В рамках настоящей работы представлены данные по девяти луговым участкам, сведения о видовом составе и численности булавоусых чешуекрылых которых были наиболее полными. Исследования проводились с 2014 по 2018 г. в Куменском, Кирово-Чепецком, Нолинском районах Кировской области и окрестностях г. Кирова. Булавоусых чешуекрылых отлавливали при помощи энтомологического сачка. Использовался метод последовательного безвыборочного вылова видов (Песенко, 1982; Татаринов, 2001). Структура населения булавоусых чешуекрылых луговых участков определялась на основе относительного обилия видов в сборах. Выявлялись доминанты (более 10%) и субдоминанты по численности (5–10%), образующие комплекс фоновых видов, малочисленные и единичные виды (менее 5%). Видовое разнообразие оценивалось с помощью индексов Бергера-Паркера (d), Симпсона (D_{SM}), Маргалефа (D_{MG}), строились графики рангового распределения видов (Татаринов, Долгин, 2010). Для расчета индексов и построения дендрограмм использовалась программа PAST 2.13.

На лугах различных типов было отмечено 66 видов булавоусых чешуекрылых из 31 рода и шести семейств. Преобладают, как и в целом в южной тайге, семейства Nymphalidae (38%) и

Lycaenidae (27%), представленные 25 видами из девяти родов и 18 видами из семи родов соответственно.

Изученные луга объединены в группы по растительным формациям: выделены разнотравные, злаково-разнотравные, разнотравно-злаковые луга. Видовое разнообразие булавоусых чешуекрылых на лугах всех типов изменялось от 34 видов из 21 рода на злаковых лугах до 47 видов из 27 родов на злаково-разнотравных. На всех участках выделялись группы фоновых видов (от 6 до 8 видов), суммарная доля которых в населении лугов составляла от 58 до 76%. На большинстве лугов в состав фоновых видов входили *Pieris napi* (L.), виды группы *Plebejus idas*, *Polyommatus semiargus* (Rott.), *Hyponephele lycaon* (Rott.), *Coenonympha glycerion* (L.), *Thymelicus lineola* (O.).

Уровень инвентаризационного разнообразия примерно одинаков во всех изученных сообществах (см. таблицу). Незначительные изменения в сторону увеличения видового разнообразия на разнотравных лугах объясняются составом растительности и наличием большего числа цветущих растений, привлекательных для имаго булавоусых чешуекрылых из других местообитаний.

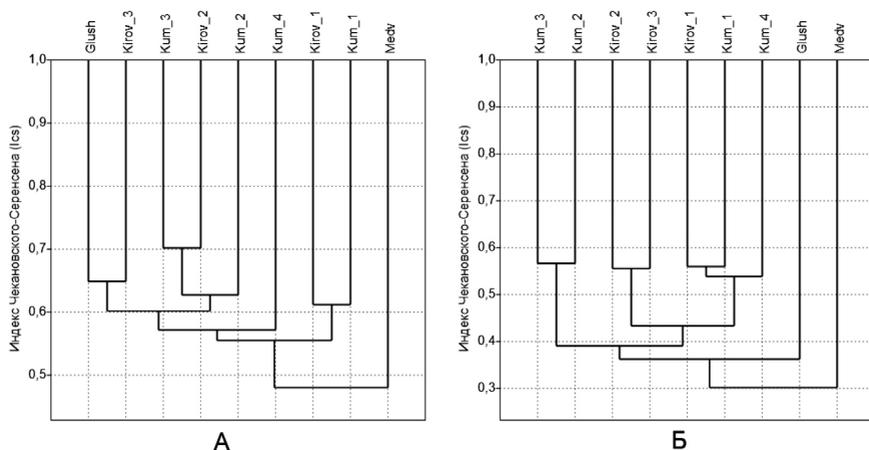
Для всех участков зафиксировано большое количество редких видов, что характерно для таежной зоны. Распределение видов соответствует логарифмической модели, что говорит о разнородных и устойчивых сообществах булавоусых чешуекрылых со сложившейся структурой доминирования.

Сходство видового состава булавоусых чешуекрылых различных лугов превышает 50% (см. рисунок). Исключение составляет луг в окрестностях пос. Медведок, который находится на южной границе южной тайги. Это связано прежде всего с тем, что в составе группировок булавоусых чешуекрылых данного луга появляются суббореальные виды. При сравнении участков с учетом численности данный участок также обособляется на дендрограмме. Это

Видовое разнообразие булавоусых чешуекрылых в исследуемых луговых сообществах Кировской области

Индексы	Kum 2	Kum 4	Kirov 1	Medv	Kum 3	Kirov 2	Kum 1	Glush	Kirov 3
Симпсона (D_{SM})	0.86	0.8972	0.8737	0.9025	0.9149	0.9137	0.8922	0.9074	0.8959
Маргалефа (D_{MG})	3.956	4.893	4.402	3.716	4.779	4.535	3.986	4.659	3.77
Бергера-Паркера (d)	0.2803	0.2545	0.2797	0.1546	0.1765	0.1364	0.2185	0.1935	0.1951

Обозначения. Kirov 1–3 – луга в окрестностях г. Кирова, Kum 1–4 – луга в окрестностях пгт. Кумены Куменского района, Glush – луг в окрестностях дер. Глушиха Кирово-Чепецкого района, Medv – луг в окрестностях пос. Медведок Нолинского района.



Дендрограммы сходства (I_{cs}) видового состава (А) и относительного обилия (Б) булавоусых чешуекрылых луговых местообитаний. Обозначения см. в таблице.

объясняется тем, что некоторые суббореальные виды, в частности, пашечница *Melitaea didyma* (Esp.), здесь являются доминантами по численности. Общий уровень сходства изученных участков по относительному обилию видов на участках по сравнению со сходством по видовому составу несколько ниже, что естественно, так как численность одних и тех же видов на разных типах лугов может значительно отличаться.

ЛИТЕРАТУРА

Круликовский Л.К. Чешуекрылые Вятской губернии / Л.К. Круликовский // Материалы к познанию фауны и флоры Российской империи. Отдел зоологический. Вып. 9. – М.: Типо-литография Товарищества И.Н. Кушнерев и К^о, 1909. – С. 48–250.

Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю.А. Песенко. – М.: Наука, 1982. – 287 с.

Решетников С.П. К фауне чешуекрылых (Lepidoptera) заповедника «Нургуш» / С.П. Решетников // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». – Киров: ООО «Типография «Старая Вятка», 2015. – Т. 3. – С. 143–150.

Татаринов А.Г. Видовое разнообразие булавоусых чешуекрылых на европейском северо-востоке России / А.Г. Татаринов. – СПб.: Наука, 2001. – 244 с.

Татаринов А.Г. Видовое разнообразие и методы его оценки / А.Г. Татаринов, М.М. Долгин. – Сыктывкар, 2010. – 44 с.

Татаринов А.Г. Многолетние изменения структуры населения дневных чешуекрылых (Lepidoptera, Rhopalocera) разнотравного луга / А.Г.

Татаринов, О.И. Кулакова // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 1. – С. 42–50.

Чарушина А.Н. Насекомоядные, грызуны, их эктопаразиты и булавовусые чешуекрылые основных ландшафтов Кировской области / А.Н. Чарушина: дис. ... канд. биол. наук. – М., 1971. – 195 с.

Чарушина А.Н. Отряд Lepidoptera – Чешуекрылые / А.Н. Чарушина, А.И. Шернин // Животный мир Кировской области. – Киров, 1974. – Т. 2. – С. 351–477.

РАЧКИ РОДА *EUCYCLOPS* (COPEPODA, CYCLOPOIDA) ИЗ АРКТИЧЕСКИХ БИОТОПОВ ДЕЛЬТЫ ЛЕНЫ

А.А. Новиков¹, Е.Н. Абрамова², Р.М. Сабилов¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет

² Государственный природный заповедник «Усть-Ленский»

E-mail: aan201097@yandex.ru

Веслоногие рачки Copepoda являются одним из важнейших компонентов всевозможных водных экосистем. В частности, представители рода *Eucyclops* отличаются от других *Cyclopidae* преимущественно растительной диетой, т.е. в водоемах они являются первичными консументами, переносящими энергию с одноклеточных водорослей на более высокие трофические ниши. В целом рачки этого рода характеризуются средними размерами (800–1600 мкм) и характерным строением фуркальных ветвей. *Eucyclops* является очень крупным родом копепод и включает несколько десятков дочерних видов и более 100 подтаксонов (Walter, Voxshall, 2018). Высокая степень эндемизма и космополитизм делает этот род крайне интересным с точки зрения зоогеографии (Alekseev et al., 2006).

В водоемах дельты р. Лены нами было обнаружено четыре вида (возможно пять) из этого рода. Причем два из них – новые для науки. Эуциклопы этих четырех видов хорошо отличаются между собой как морфологически, так и по типу занимаемого биотопа.

Eucyclops serrulatus был найден нами в крупных старичных и термокарстовых озерах. Эти озера имеют достаточно большую глубину (от 4 до 12 м), что не дает им полностью промерзнуть зимой, вследствие чего животные могут проводить свою зимнюю диапаузу в достаточно благоприятных условиях. *Eucyclops speratus* – новый вид для данного района исследований. Встречается как в крупных озерах, так и в различных пойменных лужах с очень высокой электропроводностью. *Eucyclops n. sp. 1* – вид, найденный нами в полигональных озерах. Это один из самых массовых ви-

дов Cyclopoida в полигонах. Полигональные озера имеют небольшой размер и глубину в пределах 1.5 м, из-за этого там чрезвычайно неблагоприятные условия и низкий видовой состав. Также в депрессиях на ледовом комплексе нами были найдены особи возможно этого же вида, но отличающиеся очень большой шириной цефалосомы. Последний вид *Eucyclops n. sp. 2* был обнаружен всего лишь в одном маленьком термокарстовом озере, где в большом количестве обитают щитни *Lepidurus arcticus*, питающиеся животной пищей. По всей видимости, этот эуциклоп смог приспособиться к совместному с щитнями существованию. Данный вид отличается от других очень мелкими размерами, малым количеством яиц и необычным соотношением длин щетинок фуркальных ветвей.

ЛИТЕРАТУРА

Walter T.C. World of Copepods database. Eucyclops Claus, 1893. Accessed through: World Register of Marine Species at. 2018 [Электронный ресурс] / T.C. Walter, G. Boxshall. – Режим доступа: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=149781> (дата обращения 16.09.2018).

Alekseev V.R. A redescription of *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851) (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida) and some related taxa with a phylogeny of the E. serrulatus-group / V.R. Alekseev, H.J. Dumont, J. Pensaert et al. // Zoologica Scripta. – 2006. – V. 35. – P. 123–147.

ИЗМЕНЕНИЕ БОБРОВЫХ ПОСЕЛЕНИЙ (*CASTOR FIBER* L.) В ПЕРМСКОМ КРАЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

А.А. Полушкин

Пермский государственный национальный исследовательский университет
E-mail: toni.polushkin@mail.ru

В современном мире многие виды животных вынуждены существовать в непосредственной близости от человека, при этом животным необходимо приспосабливаться к новым для них трансформированным биотопам.

Цель работы – выявление влияния антропогенной нагрузки на изменение архитектуры инженерных сооружений и инфраструктуры поселений бобра речного *Castor fiber* L. на территории Пермского края.

В ходе исследований использовались маршрутные и эколого-статистические методы, разработанные Ю.В. Дьяковым в 1975 г. Нами проводились маршрутные учеты на малых и средних реках Пермского края в непосредственной близости от г. Пермь и на ре-

ках, находящихся на значительном удалении от населенных пунктов в Кишертском и Чусовском районах. Маршруты проводились в полевой сезон 2018 г.

После успешной реакклиматизации речного бобра, проводимой с 30-х гг. прошлого века, на 2016 г. численность бобра на территории Российской Федерации увеличилась до 679.9 тыс. особей (Департамент по охране..., 2017). Численность в Пермском крае после полного уничтожения вида увеличилась до 24.52 тыс. особей (Доклад..., 2017). Бобр как активный фитофаг, обитающий в естественных условиях в различных водоемах, всегда стремится увеличить акваторию своего поселения. Для выполнения этой задачи он использует различные инженерные постройки, такие как плотины, дамбы и каналы (Данилов, 2007).

Исследования бобровых поселений выявили некоторые закономерности в бобровых поселениях на различных территориях. Во-первых, общая площадь бобровых поселений вблизи от населенных пунктов в среднем на 7% больше, чем на территориях вдали от человеческого жилья, и составляет 32 907 м², но при этом общая плотность поселений на одной реке значительно ниже, чем на территориях вдали от человека. Это объясняется тем, что в непосредственной близости человека способны выживать только животные, наименее подверженные стрессовым реакциям, вызываемым шумом, загрязненностью воды и большим количеством собак. Также большая территория поселения объясняется более скудной кормовой базой и необходимостью собирать растительность для питания и построек с больших площадей.

Во-вторых, все территории, располагающиеся рядом с объектами человеческой деятельности, характеризуются меньшим разнообразием инженерных сооружений на всем протяжении поселения, чем те, что находятся вдалеке от непосредственного человеческого влияния. Так, количество плотин в поселениях бобров вдали от населенных пунктов в среднем больше, чем в поселениях рядом с человеком, сами плотины при этом отличаются большей протяженностью и высотой (см. таблицу). Это связано в первую очередь с наличием достаточного количества строительных материалов, таких как ветки и стволы деревьев. Также крупные плотины, создающие большие бобровые пруды, часто разрушаются человеком, так как они затапливают важные антропогенные объекты, такие как дороги, линии электропередач, сельскохозяйственные поля и т.д.

В-третьих, бобровые поселения вблизи населенных пунктов характеризуются большим количеством мелких малозаметных троп, обнаружить которые можно только по выходам из воды (см.

**Средние характеристики бобровых плотин
в зависимости от удаленности от человеческих поселений**

Удаленность, км	Средняя длина плотины, м	Средняя высота плотины, м
В городской черте	7.6	0.57
0–2 км	9.0	0.56
2–5 км	18.6	0.66
>5 км	19.4	0.98

рисунок). В таких местах хорошо выделяется только сам выход, который практически сразу делится на несколько коротких троп, не уходящих далеко от воды. В поселениях вдали от человека в большинстве случаев тропы в траве видны очень хорошо, они длинные и часто используемые. Это связано с количеством стрессовых факторов вблизи и вдалеке от населенных пунктов. Рядом с городами всегда наблюдается больший уровень шума по сравнению с незаселенной местностью (Денисов, 2002). Шум и собаки, следы которых обнаруживаются практически в каждом бобровом поселении рядом с городами, вынуждают бобров держаться рядом с водой, в которой они могут спрятаться от опасности, поэтому все тропы короткие и слабо выраженные. В поселениях вдали от жилья человека тропы используются бобрами многократно, при этом от мест кормежки до воды по тропам животные проходят до нескольких десятков метров.

Таким образом, антропогенное влияние на биотопы и живущие в них виды приводит к различным изменениям в структуре и составе бобровых поселений.

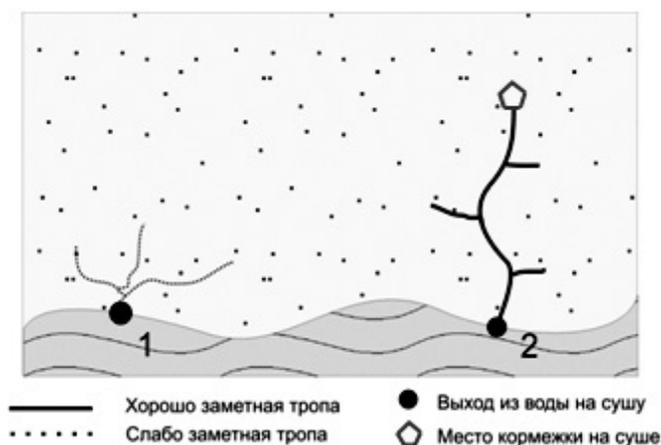


Схема троп в бобровых поселениях с антропогенной нагрузкой (1) и без нее (2).

ЛИТЕРАТУРА

Данилов П.И. Речные бобры европейского севера России / П.И. Данилов, В.Я. Каньшиев, Ф.В. Федоров. – М.: Наука, 2007. – 199 с.

Денисов В.В. Экология: учебник / В.В. Денисов, В.В. Гутенев, И.А. Луганская. – М.: Вузовская книга, 2002. – 726 с.

Дьяков Ю.В. Бобры европейской части Советского Союза: морфология, экология, пути и методы хозяйственного использования / Ю.В. Дьяков. – Смоленск: Московский рабочий, 1975. – 480 с.

Департамент по охране, контролю и регулированию использования объектов животного мира Вологодской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ohotdep.gov35.ru>.

Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.permecology.ru/ежегодный-экологический-доклад/ежегодный-экологический-доклад-2017>.

**ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИВЕРГЕНЦИЯ УТИНОЙ БЕЗЗУБКИ
ANODONTA ANATINA (LINNAEUS, 1758)
РЕК БАСЕЙНА АЗОВСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ СО**

**А.А. Томилова¹, А.В. Кондаков^{1,2}, И.Н. Болотов^{1,2}, И.В. Вихрев^{1,2},
А.А. Любас¹, М.Б. Кабаков¹**

¹ ФИЦ комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова РАН

² Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: tomilova_alyona@mail.ru

Крупные двустворчатые моллюски имеют большое значение для пресноводных экосистем – они выступают в качестве активных биофильтраторов и биоиндикаторов окружающей среды (Шаплыгина и др., 2016). Эти организмы являются удобными модельными объектами для проведения биогеографических исследований, поскольку имеют достаточно широкий ареал обитания и не способны самостоятельно перемещаться между бассейнами отдельных водоемов.

В настоящее время изучение дивергенции животных на основе ДНК-штрихкодирования часто используется в биологических исследованиях (Картавцев, 2013). Анализ генетических данных позволяет понять не только особенности эволюции исследуемых объектов, но и отследить пути их расселения. На примере двустворчатых моллюсков семейства *Unionidae* было показано (Boltov et al., 2017), что в водоемах, которые существуют длительное время, наблюдается дифференциация этих животных с образованием новых видов. Поскольку моллюски *Unionidae* эволюционируют достаточно медленно, то могут выступать в качестве модель-

ных объектов для выявления рефугиумов и определения возможных связей между отдельными речными бассейнами.

Объектом настоящего исследования выступил двустворчатый моллюск *Anodonta anatina* (Linnaeus, 1758), относящийся к классу пресноводных двухстворчатых или пластинчатожаберных, к подсемейству Anodontinae из семейства Unionidae. Данный вид широко распространен в Европе, Сибири, Западной и Центральной Азии, что делает его идеальным объектом для биогеографических исследований.

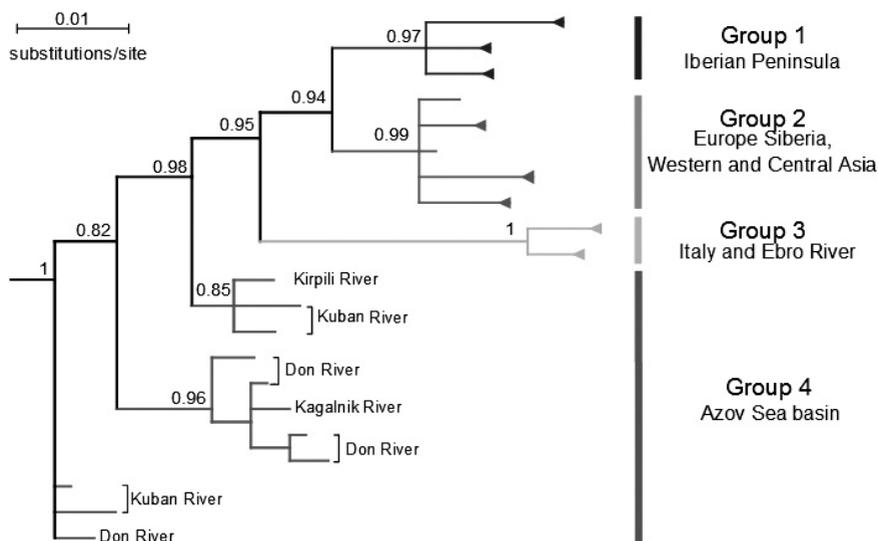
Цель работы – выявление и оценка особенностей генетической дивергенции утиной беззубки *Anodonta anatina* в водоемах бассейна Азовского моря.

Были проанализированы образцы утиной беззубки, собранные в районах бассейнов рек Кубань, Дон, Кагальник и Кирпили. Все ткани биологических объектов были зафиксированы в этиловом спирте и хранятся в коллекции УНУ «Российского музея центров биоразнообразия» на базе ФИЦКИА РАН. Для идентификации образцов *Anodonta anatina* было осуществлено выделение тотальной клеточной ДНК, амплификация и секвенирование фрагмента первой субъединицы цитохром с-оксидазы (COI) согласно протоколу (Bolotov et al., 2017).

Все полученные последовательности гена COI были отредактированы и выравнены при помощи программы BioEdit v. 7.0.5.3 (Hall, 1999, 2013). Итоговый сет данных составил 75 уникальных гаплотипов длиной 590 п.н. Кроме того, гаплотипы *Anodonta nuttalliana*, *Anodonta cygnea*, *Anodonta kennerlyi*, *Pseudanodonta complanata*, *Sinanodonta woodiana*, *Unio tumidus* были использованы в качестве внешних групп. Оптимальные эволюционные модели для каждого из трех кодонов были выбраны на основе минимального информационного критерия Акайке (AICс) с использованием программы MEGA 6 (Tamura et al., 2013). Филогенетический анализ был выполнен вероятностным методом Байеса с использованием программы MrBayes v. 3.2.2 (Ronquist et al., 2012).

Полученное филогенетическое дерево (см. рисунок) демонстрирует сформировавшиеся в процессе расселения и эволюции географические группы: 1 – Пиренейский п-ов, 2 – Европа, Сибирь, Восточная и Центральная Азия, 3 – Италия и р. Эбро, 4 – бассейн Азовского моря.

Наличие сформировавшихся обособленных генетических групп 1, 2 и 3 согласуется с данными (Froufe et al., 2014) и подтверждает гипотезу проникновения утиной беззубки в Сибирь, Центральную и Западную Азию из Европы. Выявление отдельной новой дивергентной группы 4, которая была обнаружена только в бассейнах



Филогенетическое дерево утиной беззубки *Anodonta anatina* на основе гена COI. Числа возле узлов являются байесовскими апостериорными вероятностями.

рек Азовского моря, указывает на то, что генетические отличия этих моллюсков были приобретены вследствие длительной изоляции и адаптации к условиям окружающей среды. Это свидетельствует о наличии на данной территории рефугиума в период позднего плейстоцена, который не имел связи с пресноводными бассейнами Центральной Европы.

В ходе исследования на основании большого массива данных генетических последовательностей гена COI утиной беззубки было установлено, что в реках бассейна Азовского моря в период последнего оледенения существовал рефугиум, в процессе изоляции в котором сформировалась отдельная генетическая группа моллюсков *Anodonta anatina*, которая в свою очередь разбивается на три клады. Выявление и изучение таких территорий позволяет по-новому взглянуть на эволюцию пресноводной фауны в периоды оледенений и определяет необходимость охраны животных в данных регионах как важных источников генетического биоразнообразия.

Авторы благодарны М.В. Винарскому, Ю.С. Колосовой, А.А. Махрову, В.С. Артамоновой, которые в разные годы участвовали в сборе моллюсков.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 0409-2019-0041, гранта Президента РФ (№ МК-4723.2018.4) и РФФИ (№ 18-34-20033 мол_а_вед). Полевые работы по сбору материала в бассейнах рек Дон и Кубань выполнены при поддержке гранта РНФ (№ 18-77-00058).

ЛИТЕРАТУРА

Картавец Ю.Ф. Генетическая дивергенция видов и других таксонов. Географическое видообразование и генетическая парадигма неодарвинизма в действии / Ю.Ф. Картавец // Успехи современной биологии. – 2013. – Т. 133. – №. 5. – С. 419–451.

Шаплыгина Ю.Н. Интегральная значимость пресноводных моллюсков в самоочищении воды дельты реки Волги / Ю.Н. Шаплыгина, Т.Ф. Курочкина, Б.М. Насибулина // Экология: Естественные науки. – 2016. – Т. 55. – № 2. – С. 27–32.

Bolotov I.N. Ancient river inference explains exceptional Oriental freshwater mussel radiations / I.N. Bolotov, A.V. Kondakov, I.V. Vikhrev et al. // Scientific Reports. – 2017. – V. 7(1). – P. 2135.

Froufe E. Genetic diversity of the pan-European freshwater mussel *Anodonta anatina* (Bivalvia: Unionoida) based on CO1: new phylogenetic insights and implications for conservation / E. Froufe, C. Sobral, A. Teixeira et al. // Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. – 2014. – V. 24. – № 4. – P. 561–574.

Ronquist F. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space / F. Ronquist, M. Teslenko, P. Van Der Mark et al. // Systematic biology. – 2012. – V. 61(3). – P. 539–542.

Tamura K. MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0 / K. Tamura, G. Stecher, D. Peterson et al. // Molecular biology and evolution. – 2013. – V. 30(12). – P. 2725–2729.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ *DREISSENA POLYMORPHA* (PALLAS, 1771) В БАССЕЙНЕ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА И ИХ ПАРАЗИТОФАУНА

О.В. Травина¹, А.Р. Шевченко^{1,2}, Ю.В. Беспалая^{1,2}, О.В. Аксенова^{1,2}, С.Е. Соколова^{1,2}

¹ ФИЦ комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова РАН

² Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: travina.oks@gmail.com

Нативным ареалом *D. polymorpha* считается Понто-Каспийский регион, где этот вид встречался в озерах и дельтовых районах крупных рек, стекающих в Черное и Каспийское моря (Rajagopal et al., 2009). Самой северной границей распространения *D. polymorpha* является р. Северная Двина (Старобогатов, Андреева, 1994).

Северная Двина – одна из крупнейших рек в западной части России, которая имеет исключительное хозяйственное значение для региона. В целом водоток характеризуется устойчивым режимом ледостава с продолжительностью ледяного покрова 144–185 дней. Замерзание реки начинается в конце октября–начале ноября и заканчивается в апреле-мае. Средняя температура в январе составляет -12.8°C , в июле $+16.3^{\circ}\text{C}$ (Агафонова, Фролов, 2007).

В настоящее время практически отсутствуют данные о состоянии популяций *D. polymorpha* и их распространении в водотоках бассейна р. Северная Двина, также нет актуальной информации об эндосимбионтах *D. polymorpha* в регионе. В то же время дрейссены нередко выступают в роли промежуточного хозяина для ряда беспозвоночных животных. В настоящее время для них установлено 34 таксона эндосимбионтов, включая инфузорий, трематод, нематод, хирономид, олигохет, клещей и пиявок.

Цель работы – изучение распространения и паразитофауны популяций *D. polymorpha* в водотоках бассейна р. Северная Двина.

Полевые экспедиционные работы были проведены в водотоках бассейна р. Северная Двина в 2015–2018 гг.

На каждой станции отбор проб зообентоса проводили по стандартной методике (Методика изучения..., 1975) с использованием дночерпателя Петерсена и гидробиологического сачка и для каждой станции выполнена оценка типа грунта и растительности. Для отбора образцов дрейссены также применяли драгу и ручной сбор с различных субстратов. Измерение температуры воды проводили в период полевых работ с помощью цифрового термометра ТК-5.05 с погружным усиленным зондом. Гидрохимический анализ проб воды выполнен в ЦКП «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета, г. Архангельск. Все собранные материалы хранятся в Российском музее центров биологического разнообразия ФИЦКИА РАН, г. Архангельск.

В целях изучения паразитофауны *D. polymorpha* у всех вскрытых особей были исследованы мантия, вода из мантийной полости и внутренние органы на наличие эндосимбионтов с применением бинокулярного стереомикроскопа Leica M165C.

В ходе проведенных исследований нами были обследованы реки Северная Двина, Юрос, Лявля, Соломбалка, Курья, Карелка и Большая Юра, из них поселения дрейссены не были обнаружены только в двух последних водотоках.

Средняя плотность колоний *D. polymorpha* в зависимости от станции варьировала от 0 до 4023.8 экз./м², а ее среднее значение для исследуемых рек составило 169.67 экз./м². Плотность изученных колоний *D. polymorpha* невысокая по сравнению с попу-

ляциями в других частях ареала, где она достигает 30 000 экз./м² (Araujo et al., 2010).

По гидрохимическому составу обследованные реки бассейна р. Северная Двина можно отнести к слабощелочным. Значения pH в исследованных водотоках изменялось от 6.40 до 8.65. В катионном составе в реках Северная Двина, Юрос и Соломбалка преобладающими были ионы кальция (17–41 мг/л), в реках Большая Юра и Карелка концентрация кальция составила лишь 8.24 и 8.35 мг/л (ниже предельно допустимых нижних границ для *D. polymorpha*). Вероятно, низкие концентрации кальция и уровня pH являются одной из причин невысокой плотности поселений *D. polymorpha*, а в некоторых случаях и отсутствия популяций дрейссены в исследованных водотоках.

В процессе изучения паразитофауны популяций *D. polymorpha* было выявлено инфицирование моллюсков спороцистами *Phyllo-distomum macrocotyle* (р. Юрос) для которых окончательным хозяином являются щука, хариус, ерш, окунь, обыкновенный подкаменщик (занесен в Красную книгу Архангельской области).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 18-34-00580 мол_а, № 17-44-290436 р_а.

ЛИТЕРАТУРА

Агафонова С.А. Особенности ледового режима рек бассейна Северной Двины / С.А. Агафонова, Н.Л. Фролова // Водные ресурсы. – 2007. – Т. 34. – № 2. – С. 141–149.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / отв. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. – М.: Наука, 1975. – 240 с.

Старобогатов Я.И. Ареал и его история / Я.И. Старобогатов, С.И. Андреева // *Dreissena polymorpha* (Pall.) (Bivalvia, Dreissenidae): систематика, экология, практическое значение. – М.: Наука, 1994. – С. 47–55.

Araujo R. Life cycle and density of a newcomer population of zebra mussels in the Ebro River, Spain / R. Araujo, M. Valladolid, I. Gymeze // The Zebra Mussel in Europe. – Backhuys Publishers, Leiden. – Margraf Publishers, Weikersheim, 2010. – P. 183–189.

Rajagopal S. Origin of Spanish invasion by the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) revealed by amplified fragment length polymorphism (AFLP) fingerprinting / S. Rajagopal, B.J.A. Pollux, J.L. Peters et al. // Biological invasions. – 2009. – V. 11. – № 9. – P. 2147–2159.

ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ ПАРАЗИТИЧЕСКИХ КЛЕЩЕЙ *UNIONICOLA* В РЕКАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

Ю.Е. Чапурина^{1,2}, А.В. Кондаков^{1,2}, И.Н. Болотов^{1,2}

¹ФИЦ комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова РАН

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.И. Ломоносова
E-mail: chapurina_yu@mail.ru

Unionicola – род водяных клещей, в настоящее время насчитывающий более 250 видов, ведущих как свободноживущий, так и паразитический образ жизни, встречающихся на всех материках, за исключением Антарктиды (Edwards, Vidrine, 2013). В частности, их можно обнаружить на жабрах и в мантийной полости пресноводных двустворчатых моллюсков, обитающих в речных системах Индокитая.

Согласно недавним биогеографическим исследованиям, посвященным диверсификации и распространению двустворчатых моллюсков крупных речных бассейнов этого региона (Иравади, Ситаун, Салуин, Меконг), с помощью метода комплексной мульти-локусной филогении, калиброванной по ископаемым, было обнаружено, что эти речные бассейны представляют собой древнейшие центры биоразнообразия, возраст которых насчитывает не менее 50 млн. лет. Вследствие длительной эволюции в этих речных системах сформировались новые рода и виды моллюсков семейства *Unionidae*, расселившихся на другие континенты (Bolotov et al., 2017).

Цель работы – изучение филогенетических отношений некоторых клещей *Unionicola*, паразитов двустворчатых пресноводных моллюсков, населяющих древние речные системы Юго-Восточной Азии, на примере Меконга, Ситауна, Иравади, Баго и Салуина.

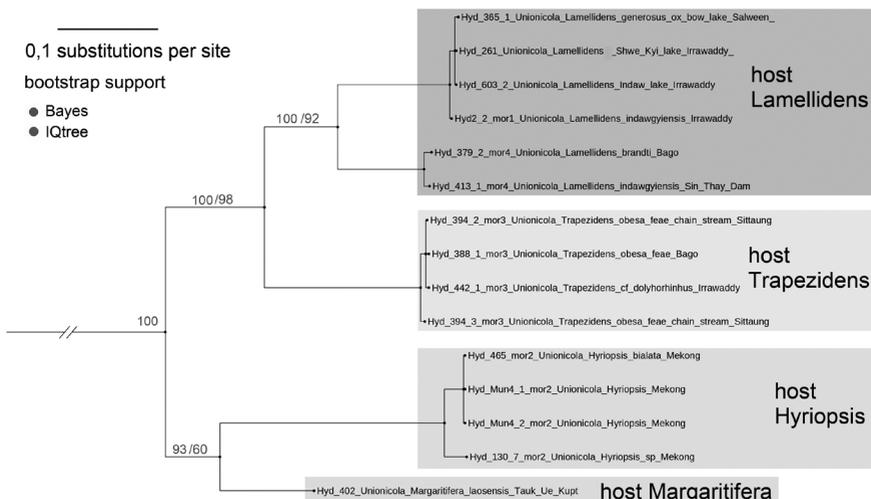
Для проведения анализа были выбраны клещи, найденные в мантийной полости моллюсков отряда Unionoida (сем. *Unionidae* и *Margaritiferae*), собранных в экспедициях в Юго-Восточную Азию в 2014–2018 г. ДНК клещей извлекали с помощью метода фенол-хлороформной экстракции. Для постановки полимеразной цепной реакции (ПЦР) использовали вырожденные праймеры для гена малой субъединицы цитохромоксидазы I (COI) LoboF/LoboR (Lobo et al., 2013). Полученные последовательности выравнивались с помощью ПО BioEdit, филогенетическое дерево строили с помощью онлайн-сервисов www.phylo.org, [IQtree](http://iqtree.org). Несмотря на то, что клещей *Unionicola* традиционно относят к одному роду, насчитывающему более чем 60 подродов, в действительности генетические различия по гену COI между этими клещами могут достигать более 15% (Ernsting et al., 2008), что неоднократно наблюдалось

нами в ходе собственных исследований. Поэтому в качестве аут-группы была выбрана последовательность гена COI бурого собачьего клеща *Rhipicephalus sanguineus* из другого надотряда.

Всего было получено 15 гаплотипов на основании выборки из 23 последовательностей гена COI.

По результатам построенного филогенетического дерева было обнаружено, что данные последовательности выстраиваются в пять отдельных ветвей, демонстрирующих разные проценты поддержки в зависимости от выбранного способа построения дерева (см. рисунок), при этом клещи из каждой клады специфичны к отдельному роду моллюсков, паразитами которого они являются.

Кроме этого, проанализированные последовательности распадаются на две большие группы, одна из которых объединяет клещей, населявших бассейны рек Меконг и Ситаун (интересно, что их хозяева принадлежат к двум разным семействам моллюсков, *Unionidae* и *Margaritiferidae* соответственно). Расстояние от узла в этой группе значительно отличается – у клещей, паразитировавших в *Margaritifera* sp. оно значительно короче, чем у клещей из остальных клад. Вторая группа объединяет клещей, паразитировавших на моллюсках одного семейства (*Unionidae*), но населявших бассейны разных рек: Салуин, Иравади, Баго, Ситаун. Важно отметить, что внутри этой группы не наблюдается зависи-



Филогенетическое дерево клещей *Unionicola*. Цифрами обозначены проценты поддержки ветвей дерева, полученные при использовании разных алгоритмов построения: Bayes/IQtree.

мости формирования отдельной эволюционной клады от конкретного речного бассейна. Кроме этого, не было обнаружено морфологических отличий при изучении препаратов клещей, принадлежащим двум разным кладам, но одному роду моллюсков *Lamellidens*.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Исследуемые представители клещей *Unionicola* не демонстрируют эволюционной связи между видообразованием и эволюцией в зависимости от конкретного речного бассейна.

2. Показана зависимость между отдельными таксонами паразитов и их принадлежностью к одному роду хозяина-моллюска.

3. Клещи являются показательным объектом для реконструкции исторических событий соединения речных бассейнов, так как не способны самостоятельно перемещаться на большие расстояния.

ЛИТЕРАТУРА

Edwards D.D. Mites of freshwater mollusks / D.D. Edwards, M.F. Vidrine. – Eunice, Louisiana, 2013. – 336 p.

Bolotov I.N. Ancient River Inference Explains Exceptional Oriental Freshwater Mussel Radiations / I.N. Bolotov, A.V. Kondakov, I.V. Vikhrev et al. // Scientific Reports. – 2017. – V. 7. – P. 2135.

Ernsting B. R. Genetic differences among sibling species of the subgenus *Dimockatax* (Acari: Unionicolidae: *Unionicola*): Heterogeneity in DNA sequence data supports morphological differentiation / B.R. Ernsting, D.D. Edwards, M.F. Vidrine et al. // International Journal of Acarology. – 2008. – V. 34(4). – P. 403–407.

Lobo J. Enhanced primers for amplification of DNA barcodes from a broad range of marine metazoans / J. Lobo, P.M. Costa, M.A. Teixeira et al. // BMC ecology. – 2013. – V. 13(1). – P. 34.

Секция 3

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВЕ ВБЛИЗИ ТЭЦ-5 ГОРОДА КИРОВА

О.М. Абдухалилов¹, С.Г. Скугорева^{1,2}

¹Вятский государственный университет

²Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: alimbay.1998@mail.ru

В настоящее время большое внимание уделяется борьбе с загрязнением окружающей среды (ОС) поллютантами, обладающими высокой токсичностью, стойкостью, биоаккумуляцией и миграцией в ОС. Многие органические поллютанты, в частности, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), являются продуктами неполного сгорания бензина, нефти, угля и др. (Лебедева, 2011; Околелова, 2015).

Агентство по охране окружающей среды США (EPA) и Европейское сообщество (ЕЕА) отметили 16 приоритетных ПАУ как опасные соединения (Analysis..., 2019). Одним из наиболее опасных ПАУ считается бенз[а]пирен (БП) (1 класс опасности), он является канцерогеном (Analysis..., 2019). Предельно допустимая концентрация (ПДК) БП в почве составляет $2 \cdot 10^{-2}$ мг/кг (ГН 2.1.7.2041-06, 2006).

Учеными исследуется содержание ПАУ в почвах вблизи нефтеперерабатывающих предприятий (Околелова, 2015) и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) (Скугорева, 2018). Кировская ТЭЦ-5 – крупнейшая ТЭЦ г. Кирова (Скугорева, 2018). В близости к ней располагается множество садово-огородных участков, поэтому изучение влияния ТЭЦ на экологическую обстановку ОС является достаточно актуальным.

Цель работы – оценить содержание ПАУ в почвах вблизи ТЭЦ-5 г. Кирова.

Для исследования почв выбраны участки в разных направлениях от ТЭЦ-5 (С – северное, С-З – северо-западное, С-В – северо-восточное, Ю-З – юго-западное, Ю-В – юго-восточное). Площадки пробоотбора вокруг ТЭЦ-5 закладывались на расстоянии около 0.5 км от источника. В качестве фоновой были выбраны луговой и лесной участки вблизи дер. Вахренки в 10 км на юг от ТЭЦ. Пробы почв отбирали с глубины 0–5 см в мае 2018 г. Содержание ПАУ в почвах определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе «Люмахром» по методике (МУК 4.1.1274-03, 2003).

Для характеристики интегральной степени загрязнения почв ПАУ рассчитывали суммарный показатель загрязнения (СПЗ) (Z_c) (Ревич, 1982). Он представляет собой сумму превышений коэффициентов концентраций ПАУ и рассчитывается по формуле:

$$Z_c = \sum k_k - (n-1),$$

где k_k – коэффициент концентрации, n – число аномальных элементов. Коэффициент концентрации показывает кратность превышения содержания ПАУ в точке опробования над его средним содержанием в аналогичной природной среде на фоновом участке. Полученные показатели интегральной оценки загрязнения почв характеризуют степень загрязнения: $Z_c > 128$ – чрезвычайное, $Z_c = 32-128$ – опасное; $Z_c = 16-32$ – умеренно опасное; $Z_c < 16$ – допустимое загрязнение.

В результате химического анализа идентифицировано семь представителей ПАУ: пирен, хризен, бенз[b]флуорантен, бенз[k]флуорантен, бенз[a]пирен, дибенз[a,h]антрацен, бенз[g,h,i]перилен (см. таблицу).

Бенз[a]пирен идентифицирован в пробах почвы с семи участков, включая фоновые (см. таблицу). Минимальная концентрация БП установлена в почве лугового участка 5-Ю-З (0.50 ± 0.13 мкг/кг), расположенного с подветренной стороны от ТЭЦ. Максимальное содержание БП, превышающее ПДК в 4.9 раза, определено в пробе с лесного участка 8-С-В, расположенного с наветренной стороны от ТЭЦ.

В почве фоновых участков определено содержание почти всех ПАУ (см. таблицу), лишь в почве лугового участка концентрация дибенз[a,h]антрацена, а в лесном концентрации пирена и дибенз[a,h]антрацена были ниже предела обнаружения метода.

По рассчитанным значениям СПЗ проб почвы лесных участков выше, чем луговых. Пробы почв всех луговых участков относятся к незагрязненным ПАУ ($Z_c < 16$). Для пробы с участка 3-С-З не отмечали превышения фонового значения ни по одному ПАУ.

Для почв всех лесных участков наблюдается превышение фона хотя бы по одному ПАУ. К опасно загрязненной пробе относит-

Содержание ПАУ в пробах почвы вблизи ТЭЦ-5 г. Кирова, мкг/кг

ПАУ № участка	Пирен	Хризен	Бенз[b] флуорантен	Бенз[k] флуорантен	Бенз[a] пирен	Дибенз[a,h] антрацен	Бенз[g,h,i] пирен	Z _c
Луговые участки								
1-С	5.2	*	7.2	0.9	3.3±0.9	*	2.0	1.5
3-С-3	4.2	*	1.4	*	*	*	*	–
5-Ю-3	6.3	*	56.0	20.0	0.50±0.13	2.2	13.0	9.8
7-Ю-В	4.3	*	35.0	20.0	5.1±2.0	10.1	29.0	12.0
Фон	4.2	8.9	13.0	4.7	2.70±0.20	*	4.7	–
Лесные участки								
2-С-3	5.4	*	13.0	2.3	*	*	2.8	1.3
4-Ю-3	8.7	*	26.0	7.1	11±4	*	13.0	8.2
6-Ю-В	4.3	*	25.0	6.7	*	0.7	11.0	5.2
8-С-В	5.8	19.0	96.0	47.0	98±28	15.0	50.0	62.5
Фон	*	7.3	10.2	4.0	3.4±0.9	*	3.6	–

* Ниже предела обнаружения метода, прочерк обозначает, что показатель не может быть рассчитан, Z_c – суммарный коэффициент загрязнения почвы ПАУ.

ся проба с участка 8-С-В, в которой отмечали превышение фона по всем идентифицированным ПАУ (Z_c = 62.5). Для всех остальных проб показатель СПЗ был ниже 16.

Таким образом, по результатам исследований методом ВЭЖХ установлено, что умеренным уровнем загрязнения ПАУ (Z_c < 16) характеризуется большинство отобранных проб почвы. Не загрязненной ПАУ можно считать почву участка 3-С-3, находящегося с подветренной стороны от ТЭЦ. Опасно загрязненной всеми идентифицированными ПАУ (Z_c = 62.5) является проба почвы, отобранная с участка 8-С-В, расположенного с наветренной стороны от ТЭЦ-5. На данном участке отмечали превышение ПДК бенз[a]пирена в 4.9 раза.

ЛИТЕРАТУРА

ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. – М.: Минздрав России, 2006. – 16 с.

Лебедева Е.Г. Методы защиты человека от воздействия приоритетных поллютантов: учебно-методическое пособие / Е.Г. Лебедева, Н.В. Шарапова, О.А. Свиридов и др. – Оренбург, 2011. – 141 с.

МУК 4.1.1274-03. Измерение массовой доли бенз[a]пирена в пробах почв, грунтов, донных отложений и твердых отходов методом ВЭЖХ с использованием флуориметрического детектора. – М: Минздрав России, 2003. – 36 с.

Околелова А.А. Содержание бенз[a]пирена в почвенном покрове нефтеперерабатывающего предприятия / А.А. Околелова, А.С. Мерзлякова, В.П. Кожевникова // Научные ведомости Белгородского государствен-

ного университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – Вып. 30. – С. 111–116.

Ревич Б.А. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами / Б.А. Ревич, Ю.Е. Саэт, Р.С. Смирнова и др. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 112 с.

Скугорева С.Г. Оценка содержания бенз[а]пирена в почвах вблизи ТЭЦ-5 города Кирова / С.Г. Скугорева, О.М. Абдухалилов // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. – Киров: ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС», 2018. – Кн. 1. – С. 168–171.

Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil with agilent bond elut. HPLC-FLD [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.agilent.com/cs/library/applications/5990-5452EN.pdf> (Дата обращения: 02.01.2019).

ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ

Н.Н. Бондаренко, Е.М. Лаптева, Е.В. Кызьюрова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: BondNikropolNik@mail.ru

В последнее время в Республике Коми особое внимание уделяется вопросам изменения почв под влиянием естественного лесовосстановления после рубок главного пользования. На основе многолетних исследований были установлены закономерности трансформации морфологических и физико-химических свойств подзолистых почв в процессе восстановления древесной растительности после рубки еловых лесов (Лаптева и др., 2015), параметров температурного режима почв (Дымов, Старцев, 2016), почвенного микробного комплекса (Виноградова и др., 2014), определены количественные характеристики изменения опада и запасы фитомассы в хронологическом ряду вырубков (Дымов и др., 2012), водорастворимых органических соединений в почвах (Лаптева и др., 2015), оценено влияние рубок на изменение химического состава водотоков (Дымов, 2013).

Цель работы – выявление закономерностей изменения высокомолекулярных компонентов органического вещества подзолистых почв – гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК) – в процессе естественного лесовосстановления после сплошнолесосечных рубок еловых лесов.

Объектами исследования послужили почвы коренного ельника черничного (ПП1) и разновозрастных производных березняков, сформировавшихся после рубок главного пользования, проведен-

ных в зимний период 2001/2002 (ПП2) и 1969/1970 гг. (ПП3) на территории Республики Коми в подзоне средней тайги. Почвенный покров ключевых участков представлен подзолистыми текстурно-дифференцированными почвами, сформированными на крупнопылеватых покровных суглинках (Путеводитель..., 2007).

При проведении исследований использовали как классические методы почвоведения, так и современные физико-химические методы исследования гумусовых кислот. Препараты ГК выделяли из воздушно-сухих образцов верхних горизонтов почв (подстилочно-торфяного и подзолистого) двукратной экстракцией смесью 0.1 М NaOH и 0.1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (рН 13) при соотношении почва:раствор 1:10 (Лодыгин и др., 2007). Разделение и очистку препаратов ГК и ФК проводили в соответствии с (Орлов, Гришина, 1981). Элементный состав в ГК определяли на CHNS-O-элементном анализаторе EA 1110 (Италия), аминокислотный состав их гидролизатов (6 М HCl) – на аминокислотном анализаторе AAA T339 (Microtechna Praha). Спектры ^{13}C -ЯМР регистрировали на спектрометре DRX-500 фирмы Bruker на частоте 125.76 МГц после растворения препаратов в NaOH/D₂O. Относительное стандартное отклонение результатов 10-кратного ручного интегрирования не превышает 3%.

Анализ выделенных препаратов ГК и ФК из верхних горизонтов почв хронологического ряда вырубков показал, что в ГК почвы контрольного участка (ПП1) содержание углерода варьирует от 50.96 до 56.58%, азота – от 2.80 до 4.76%, водорода – от 4.06 до 5.71%, кислорода – от 33.37 до 39.61%, что не противоречит литературным данным (Лодыгин и др., 2007). В ФК содержание C, N и H ниже и составляет соответственно 47.41–51.41, 0.88–1.81 и 2.88–4.73%. Концентрация кислорода и соотношение O:C существенно выше в макромолекулах ФК по сравнению с ГК, что в целом характерно для элементного состава ФК (Орлов, 1990). Для ГК, выделенных из почв вырубков, отмечено возрастание доли азота в 1.3–1.7 раза по сравнению с почвой участка ПП1, что может быть связано со сменой растительных сообществ. В листовенно-хвойных насаждениях основная доля поступающего органического вещества приходится на листовые пластинки мелколиственных пород, имеющих повышенное содержание азота (Дымов и др., 2012). Более высокие значения соотношения N:C в препаратах ГК почв вырубков свидетельствуют об относительном возрастании в структуре их макромолекул доли алифатических структур. Это подтверждается более высоким (в 4.5–4.8 раза) суммарным содержанием аминокислот в гидролизатах препаратов ГК из почв участков ПП2 и ПП3.

Анализ ^{13}C -ЯМР-спектров ГК и ФК, выделенных из верхних горизонтов почв хронологического ряда вырубок, показал следующее. Препараты ГК участка ПП2 (молодой березняк) существенно отличаются по относительному содержанию углерода алифатических и ароматических фрагментов по сравнению с препаратами ГК целинного елового леса (ПП1) и средневозрастного березняка (ПП3) (см. таблицу). Тем не менее, в препаратах ГК, выделенных из лесных подстилок контрольного участка (ПП1) и молодой вырубки (ПП2), сумма С,Н-алифатических и ароматических фрагментов и отношение С,Н-алкил/О,Н-алкил в макромолекулах ГК сопоставимы. ГК почвы участка ПП2 характеризуются низкой степенью ароматичности за счет более развитой гидролизуемой части. Смена хвойной растительности на лиственную, которая происходит в результате послерубочной сукцессии, и последовательное развитие древостоя на вырубке существенно влияет на структурные особенности ГК почвы участка ПП3. Эти изменения прослеживаются в увеличении доли ароматических фрагментов, сни-

Интегральные показатели молекулярного состава гумусовых веществ почв хронологического ряда вырубок

Участок	Горизонт	Ar ¹	Al ²	Ar/Al	Ароматичность, %	Al _{HR} +Ar _{HR} ³	С,Н-алкил/О,Н-алкил ⁴
Гуминовые кислоты							
ПП1	О	31.0	69.0	0.45	31.0	53.7	0.87
ПП2	О	27.9	72.1	0.39	27.9	53.1	0.83
ПП3	О	40.8	59.2	0.69	40.8	41.8	0.22
ПП1	EL[e]	н/о ⁵	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
ПП2	EL[e],hi,g	21.7	78.3	0.28	21.7	65.6	2.31
ПП3	EL	33.3	66.7	0.50	33.3	62.1	1.38
Фульвокислоты							
ПП1	О	20.9	79.1	0.26	20.9	34.5	0.33
ПП2	О	25.9	74.1	0.35	25.9	32.8	0.26
ПП3	О	34.4	65.6	0.53	34.4	34.9	0.26
ПП1	EL[e]	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
ПП2	EL[e],hi,g	19.4	80.6	0.24	19.4	37.6	0.43
ПП3	EL	28.1	71.9	0.39	28.1	34.8	0.25

Примечания.

¹ Сигналы от ароматических структур суммировали по областям (105–164) и (183–190) ppm.

² Сигналы от алифатических структур суммировали по областям (0–105), (164–183) и (190–204) ppm.

³ Сигналы суммировали по областям (0–47) и (105–144) ppm.

⁴ С,Н-алкил – сумма сигналов в диапазоне (0–47) ppm, О,Н-алкил – сумма сигналов (47–60) и (60–105) ppm.

⁵ н/о – не определяли.

жении суммы алифатических фрагментов и, соответственно, возрастания степени ароматичности макромолекул ГК. Для препаратов ФК характерно увеличение доли ароматических фрагментов.

Таким образом, сплошнолесосечные рубки еловых лесов, формирующихся в подзоне средней тайги на типичных подзолистых почвах суглинистого гранулометрического состава, оказывают непосредственное влияние на изменение состава и структуры гумусовых кислот. Смена пород и изменение экологических условий на вырубках обуславливают изменение элементного состава гумусовых веществ и упрощение строения их макромолекул, о чем свидетельствует возрастание соотношения Н:С, суммарного содержания аминокислот в гидролизатах ГК и ФК, а также результаты ¹³С-ЯМР-спектроскопии.

ЛИТЕРАТУРА

Виноградова Ю.А. Микробные сообщества подзолистых почв на рубках среднетаежных еловых лесов / Ю.А. Виноградова, Е.М. Лаптева, Е.М. Перминова и др. // Известия Самарского НЦ РАН. – 2014. – Т. 16, № 5. – С. 74–80.

Дымов А. А. Химический состав водотоков в коренном еловом и производном лиственно-хвойном лесах / А.А. Дымов // Вода: химия и экология. – 2013. – № 4. – С. 97–101.

Дымов А.А. Изменение температурного режима подзолистых почв в процессе естественного лесовозобновления после сплошнолесосечных рубок / А.А. Дымов, В.В. Старцев // Почвоведение. – 2016. – № 5. – С. 599–608.

Дымов А.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях / А.А. Дымов, К.С. Бобкова, В.В. Тужилкина, Д.А. Ракина // Лесной журнал. – 2012. – № 3. – С. 7–18.

Лаптева Е.М. Влияние сукцессии растительного покрова на состав водорастворимых органических соединений в почвах рубок / Е.М. Лаптева, Н.Н. Бондаренко, Ю.А. Виноградова и др. // Известия Самарского НЦ РАН. – 2015. – Т. 17, № 4(4). – С. 673–680.

Лаптева Е.М. Изменение почв и почвенного покрова еловых лесов после сплошнолесосечных рубок / Е.М. Лаптева, Г.М. Втюрин, К.С. Бобкова и др. // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 5. – С. 64–76.

Лодыгин Е.Д. Структурно-функциональные параметры гумусовых веществ подзолистых и болотно-подзолистых почв / Е.Д. Лодыгин, В.А. Безносиков, С.Н. Чуков. – СПб.: Наука, 2007. – 145 с.

Орлов Д.С. Практикум по химии гумуса / Д.С. Орлов, Л.А. Гришина. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 272 с.

Орлов Д.С. Гуминовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.

Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных рубок (подзона средней тайги). – Сыктывкар, 2007. – 84 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕЛЬ-ХРОМАТОГРАФИРОВАНИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ

К.С. Вежов^{1,2}, Р.С. Василевич¹, Е.Д. Лодыгин¹

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

² Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

E-mail: vezhov@ib.komisc.ru

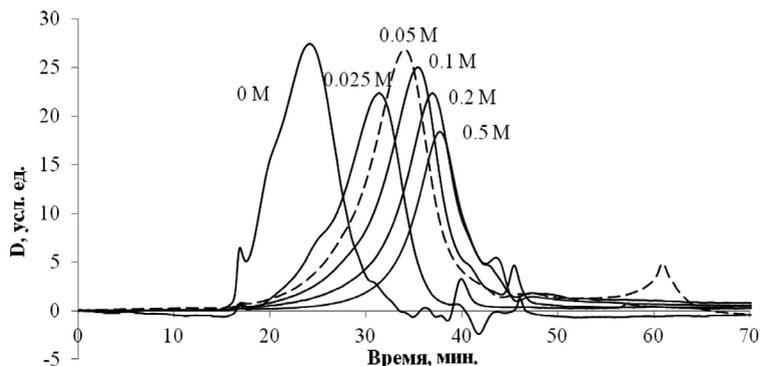
На сегодняшний момент до конца не ясна химическая природа гуминовых кислот (ГК) и не раскрыт вопрос относительно их молекулярных масс (ММ). Согласно классической теории, ГК – это высокомолекулярные системы, и их молекулярная масса, отражая функциональный состав, является функцией экологических условий их образования. Согласно супрамолекулярной теории, ГК – это полимолекулярная система, организованная за счет ассоциации низкомолекулярных соединений в супрамолекулярные ансамбли, связанные гидрофобными взаимодействиями. Основным противоречием указанных теорий является разность методических подходов в анализе молекулярных масс ГК. Эксклюзионная гель-хроматография (ЭГХ) представляет собой метод жидкостной хроматографии, которая сортирует молекулы в соответствии с их линейным размером в растворе. При прохождении через аналитическую колонку молекулы образца с малым стоковским радиусом задерживаются порами геля, в то время как крупные молекулы элюируются в объеме пустот колонки. Следовательно, молекулы отделяются в зависимости от их размера при прохождении через колонку и элюируются в порядке уменьшения молекулярной массы.

В работе проведено исследование препаратов ГК, выделенных из почв бугристых болот тундровой зоны Республики Коми. Молекулярно-массовые распределения (ММР) препаратов ГК были получены на хроматографической системе АКТАbasic 10 UPS (Amersam Biosciences, Швеция) с использованием колонок SuperdexTM 75 Increase 10/300 GL и SuperdexTM 200 10/300 GL. В качестве элюанта использовали Tris-HCl-буфер с pH = 8.2 и Tris-HCl-буфер в смеси с мочевиной 7 моль/дм³, pH = 8.7 (Трубецкая и др., 1999). Градуировку колонки проводили по глобулярным белкам, структура которых наиболее близка к структуре ГК. Для очистки препаратов ГК от примесей применялись предколонки, наполненные гелем SephadexTM G-10 и SephadexTM G-25. Предколонка выполняет функцию очистки от низкомолекулярных примесей и нерастворимых частиц, а также тех компонентов ГК, которые гидрофобно взаимодействуют с материалом колонки.

Анализ полученных результатов показал, что недостатком использования предколонки с G-25 является химическое взаимодействие полидекстранового геля с образцом ГК в результате специфической сорбции, которая возникает из-за гидрофобных и/или водородных связей между аналитом и матрицей геля, что приводит к занижению определяемого значения молекулярных масс. При работе с G-25 происходит не только удаление неспецифических низкомолекулярных соединений, но и значительное фракционирование образца по колонке. При использовании G-10 размытие фронта при элюировании образца по колонке не происходит. Выбор фракций после предколонки для дальнейшего анализа проводили по оптической плотности при характеристической для ГК длине волны 465 нм и соотношению E_4/E_6 , в итоге суммировав с первой по четвертую фракции.

Влияние ионной силы на молекулярно-массовое распределение определяли на колонке Superdex 200 (см. рисунок). Один и тот же образец ГК был элюирован в Tris-HCl буфере (pH 8.2) при различных значениях ионной силы, которую регулировали добавлением фонового электролита NaCl.

Как видно из рисунка, при низкой ионной силе раствора (0–0.025 M) наблюдается эффект сверхэксклюзии, диагностируемый по смещению кривой ММР в область высокомолекулярной фракции. Сверхэксклюзия связана с тем, что гидрофильные декстрановые гели содержат остаточные количества карбоксильных групп, ионизация которых приводит к образованию отрицательного заряда на частицах геля. Вследствие этого полианион ГК исключается из пор за счет электростатического отталкивания. Снижение эффекта ионного исключения достигается добавлением простых солей. Но при высоких значениях ионной силы происходит удерж-



Молекулярно-массовое распределение ГК при различной ионной силе.

живание молекул ГК в порах геля за счет гидрофобного взаимодействия ароматических фрагментов ГК с матрицей геля. Особенно сильно это проявляется для ГК, структура которых обогащена гидрофобными ароматическими и алкильными фрагментами. К ним относятся препараты ГК из торфяных почв, доля гидрофобных компонентов в которых достигает 50–60% (Vasilevich et al., 2018). В работе проведено исследование влияния детергентов: 1) 0.1% -ный раствор додецилсульфата натрия, который устраняет неселективную сорбцию образца на геле с добавлением мочевины, которая разрывает водородные связи в молекулярных ассоциатах ГК; 2) раствор мочевины с молярной концентрацией 7 моль/дм³, уменьшающий до минимума неэлектростатические связи ГК с ионитами (Дмитриева и др., 2017). Было показано, что при работе с колонкой G-75 использование второго детергента не сказывается на ММР ГК. В случае с колонкой G-200 происходит уменьшение степени разделения пиков вследствие высокой вязкости раствора мочевины.

Таким образом, предлагаемая процедура предусматривает разделение первичных структурных гуминовых компонентов, а не их агрегатов, и решает одну из основных проблем фракционирования гуминовых веществ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке госбюджетной темы Института биологии (№ АААА-А17-117122290011-5) и гранта РФФИ № 18-05-60195.

ЛИТЕРАТУРА

Дмитриева Е.Д. Молекулярно-массовое распределение гуминовых веществ и гиматомелановых кислот торфов различного генезиса Тульской области / Е.Д. Дмитриева, М.М. Леонтьева, К.В. Сюдюкова // Химия растительного сырья. – 2017. – № 4. – С. 187–194. doi: 10.14258/jserm.2017041933

Трубецкая О.Е. Аминокислотный состав гуминовых кислот из различных по генезису почв, фракционированных сочетанием гель-хроматографии и электрофореза / О.Е. Трубецкая, О.А. Трубецкой, Г.В. Афанасьева и др. // Изв. РАН: Сер. биол. – 1999. – № 1. – С. 84–88.

Vasilevich R.S. Molecular composition of raw peat and humic substances from permafrost peat soils of European Northeast Russia as climate change markers / R.S. Vasilevich, E.D. Lodygin, V.A. Beznosikov, E.W. Abakumov // Science of the Total Environment. – 2018. – Vol. 615. – P. 1229-1238. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.053.

**ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ
НА ДИНАМИКУ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПОЧВ:
РЕЗУЛЬТАТЫ 50-летнего ЭКСПЕРИМЕНТА**

А.Н. Гурьянова, Г.В. Матышак

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

E-mail: *gurgurana@gmail.com*

Почвенное дыхание представляет собой один из основных процессов в глобальном цикле углерода на нашей планете и является чувствительным и информативным показателем функционального состояния экосистемы. При этом многими современными авторами отмечается слабая изученность функции почвенного газообмена как на уровне отдельных структурных элементов – биогеоценозов, так и на уровне биосферы, что указывает на необходимость систематических и углубленных исследований в этой области (Курганова, 2010; Наумов, 2009). Как абиотические, так и биогенные механизмы выделения и поглощения CO_2 до сих пор остаются малоисследованными несмотря на их потенциально высокую значимость. Малочисленными также остаются сезонные исследования, работы по оценке вклада в продукцию CO_2 различными почвенными компонентами, а также работы, посвященные динамике CO_2 в почвенном профиле (Смагин, 2005).

Цель работы – изучение влияния растительных сообществ на динамику эмиссии и концентрации CO_2 в почвах. В задачи исследования входило охарактеризовать основные параметры функционирования экосистем под различными растительными сообществами, изучить эмиссию и концентрацию CO_2 в почвах и растворах под различными растительными сообществами, а также оценить сезонное варьирование потоков CO_2 и их связь с гидротермическими показателями.

Объектом исследований являются почвы лизиметров почвенного стационара МГУ. Лизиметрические установки закрытого типа были заложены в 1968 г. для исследования трансформации и эволюции почв, исключив естественную пространственно-временную вариабельность почвенных свойств, с одной стороны, и погодных условий, с другой. Они представляют собой 48 бункеров из цемента площадью 8 м² и глубиной 1.75 м. Дно каждой установки находится под наклоном и оборудовано водоотводящей трубкой, отходящей в подземную галерею под лизиметрами, где производится сбор фильтрационных вод (Умарова, 2011).

Модельные лизиметры МГУ уникальны по своим свойствам. Они заполнены однотипным суглинистым грунтом, привезенным

из Подольского района Московской области. В четырехкратной повторности на них высажены разные виды растений (хвойные, широколиственные породы, многолетние травы), а также есть участки под паром (без растительности). Данные модельные эксперименты позволяют вести сезонные наблюдения за влажностью, температурой и другими параметрами почв под различными растительными сообществами, отслеживать круговорот элементов и соединений, в том числе и с лизиметрическими водами.

В течение 2017–2018 гг. под разными растительными сообществами был исследован гидротермический режим почв на глубинах 10, 20 и 40 см термодатчиками **Thermochron iButton** и датчиками влажности **Spectrum**. Также была измерена эмиссия CO_2 методом закрытых камер в трехкратной повторности на каждой площадке (Смагин, 2005). Концентрация CO_2 в почве изучалась методом мембранных пробоотборников, которые были установлены на глубинах 10, 20 и 40 см (Умарова, 2011). Газовые пробы отбирали с частотой один раз в одну-две недели и анализировали на газоанализаторе LI-COR 830.

На сегодняшний день прошло 50 лет после заложения лизиметрического эксперимента на почвенном стационаре МГУ. За это время под влиянием различных растительных сообществ возникли значительные изменения в гидротермическом режиме почв. Среднегодовые температуры поверхности различных растительных сообществ стали отличаться более чем на 0.5°C . Самыми теплыми оказались почвы без растительного покрова (пар), что было обусловлено значительным прогреванием в летний период и изолирующим действием снежного покрова – в зимний. Самыми холодными были почвы под хвойными породами (ельник), что связано с отсутствием изолирующего воздействия снежного покрова и затенением хвойной кроной. Широколиственное сообщество характеризовалось самой теплой почвой в зимний период (за счет мощного снежного покрова) и самой холодной в летний (благодаря изолирующему влиянию лиственной подстилки).

Наименьшая влажность характерна для почв с древесной растительностью, что обусловлено транспирационным эффектом и перераспределением осадков. Минимальной влажностью отличается поверхность почвы хвойных сообществ (13%), так как довольно плотные нелистопадные кроны елей препятствуют попаданию не только жидких, но и твердых осадков. Наиболее влажной оказалась залежь (49.7%), для которой характерна наименьшая испаряемость из-за хорошо выраженного покрова многолетних трав.

Динамика биологической активности в течение года в целом соответствует изменению температуры и влажности. Максималь-

ные значения наблюдали летом, минимальные – зимой. Наибольшие значения эмиссии отмечены для участков с лесными насаждениями (лес – до 1442 мг/м²ч, ельник – до 805.0 мг/м²ч), что, вероятно, обусловлено вкладом корневого дыхания. Минимальные значения были отмечены на пару, где нет вклада корней растений в эмиссию и содержание органического вещества минимально. При этом значительные отличия установлены для концентраций СО₂ в профиле почв. На глубине 10 см и более концентрация СО₂ в разных типах сообществ может отличаться до 10 раз (0.27% – ельник, 4.27% – лес в июле). Максимальные концентрации характерны для залежи и леса, что обусловлено активным вкладом корневого дыхания. В ельнике с развитой корневой системой его продукция в профиле лимитируется низкой влажностью.

Таким образом, спустя 50 лет после начала эксперимента изначально однотипные почвы под разными растительными сообществами значительно отличаются по гидротермическому режиму и потокам диоксида углерода, формируя резко отличающийся углеродный баланс экосистем.

ЛИТЕРАТУРА

Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России / И.Н. Курганова: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Пуццо: ИФХБП РАН, 2010. – 50 с.

Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности / А.В. Наумов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 208 с.

Смагин А.В. Газовая фаза почв / А.В. Смагин. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 301 с.

Умарова А.Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв / А.Б. Умарова. – М.: ГЕОС, 2011. – 266 с.

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ ВОДРАСТВОРИМОЙ ФРАКЦИИ ПОЧВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

М.А. Королев¹, Е.В. Кызьюрова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: mihailkorolev1997@gmail.com

Дисперсные системы широко распространены в природе. Своеобразие почвы как дисперсной системы определяется наличием в ее составе частиц разного размера – от сантиметров до микро- и нанометров. Наиболее мелкие частицы почв принимают актив-

ное участие в процессах почвообразования. Коллоиды, перемещаясь по профилю, участвуют в дифференциации почвы на генетические горизонты, являются носителями сорбционных свойств почв, определяя их физические и химические характеристики. Обладая протолитическими свойствами, высокодисперсные системы могут быть источниками кислотности почв. Наиболее интересными с точки зрения понимания природы кислотности почв являются почвы с сильноокислой реакцией. Коллоидные свойства почв Республики Коми изучены недостаточно, основной массив сведений относится к среднетяжелым почвам (Слобода, 1970), поэтому целью работы было дать характеристику (дисперсность, дзета-потенциал и электропроводность) коллоидных частиц водных вытяжек из почв с использованием методов динамического рассеяния света и лазерного доплеровского электрофореза.

В качестве объектов исследований выбрано пять почв разного генезиса (различные подтипы подзолов, светлосемы, глееподзолистая и маршевая почва), в состав которых входили горизонты с высокой кислотностью $pH_{H_2O} \leq 4.8$, $pH_{KCl} \leq 3.3$. Дополнительно рассмотрены свойства девяти образцов элювиальных (подзолистых) горизонтов почв с аналогичными значениями pH вытяжек. Сильнокислые образцы почв имеют следующие характеристики: массовая доля илистой фракции составляет $\omega_{иф} = 2-13\%$, оксида кремния $\omega(SiO_2) = 75-87\%$, углерода органических соединений $\omega(C_{орг}) < 2.5\%$. Водные и солевые вытяжки из почв были приготовлены в соответствии с (ГОСТ 26423-85, 1985). Характеристика коллоидных частиц (электропроводность α , гидродинамический диаметр D и дзета-потенциал ζ) вытяжек выполнена методами динамического рассеяния света и доплеровского электрофореза на лазерном анализаторе ZetaSizer Nano ZS, Malvern (см. таблицу).

Установлено, что гидродинамический диаметр частиц почв колеблется в диапазоне значений $D = 179-1100$ нм, дзета-потенциал частиц всех образцов является отрицательным и лежит в диапазоне $\zeta = -(11.4-24.9)$ мВ, электропроводность $\alpha = 0.0254-0.505$ мСм/см (см. таблицу).

Корреляционный анализ показал, что с увеличением электропроводности (а соответственно ионной силы) водных вытяжек из органогенных и элювиальных горизонтов почв наблюдается увеличение размеров частиц ($r = 0.61$ и 0.77 соответственно). Невысокие значения коэффициентов коррелятивных зависимостей даже для

Параметры водных вытяжек из почв, полученные методом динамического рассеяния света

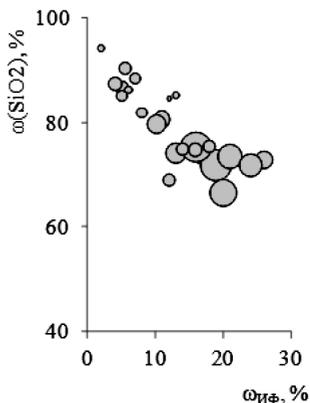
Показатель	Диапазон значений
D (нм)	179-1100
ж (мВ)	-(12.0-24.9)
α (мСм/см)	25-505

близких по составу и генезису групп горизонтов говорит о том, что все полученные системы индивидуальны по составу и свойствам.

Коллоидные частицы всех образцов почв характеризуются отрицательным значением дзета-потенциала. Наличие отрицательного значения дзета-потенциала монтмориллонита и кварцевого порошка в широком диапазоне pH 3–11 было показано и ранее (Каца, Yukselen, 2005). Для минеральных горизонтов почв обнаружены тесные связи размера частиц с содержанием илистой фракции ($r = 0.45$) и оксида кремния ($r = -0.63$, см. рисунок). Значения модуля дзета-потенциала также связаны с содержанием наиболее тонкой фракции ($r = -0.58$) и SiO_2 ($r = 0.48$). Это свидетельствует о том, что минимальным размером и максимальным абсолютным значением дзета-потенциала в большинстве случаев характеризуются коллоидные частицы водных вытяжек из образцов почв с низкой массовой долей ила и, напротив, высокой – оксида кремния. Указанные характеристики свойственны элювиальным горизонтам почв разного генезиса.

В кислой среде отрицательный заряд могут иметь коллоиды кварца и глинистых минералов, положительный – гидроксиды железа и алюминия (Каца, Yukselen, 2005). Увеличение дзета-потенциала при добавлении положительно заряженных частиц к отрицательно заряженным было показано ранее при изучении процессов гетероагрегации разнородно заряженных частиц (Mikhaylov et al., 2017). В этой связи чем выше доля кремния и, соответственно, меньше суммарное содержание алюминия и железа, тем более низкий отрицательный заряд свойственен частице. Следовательно, большее количества вещества эквивалента катионов (катионов металлов или протонов) будет компенсировать этот заряд на силанольных группах частиц. Элювиальные (подзолистые) горизонты в силу специфики условий образования при повышенной массовой доле SiO_2 имеют низкое содержание таких элементов, как Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, дефицит катионов компенсирован протонами.

Диаметр частиц в зависимости от содержания SiO_2 , % и илистой фракции, % в минеральных горизонтах почв. *Примечание:* диаметры пузырьков на диаграмме пропорциональны диаметру частиц.



В солевых фильтратах образцов элювиальных горизонтов почв обнаружено присутствие коллоидных частиц, средний размер которых в 1–20 раз превышает этот показатель в водных фильтра-тах аналогичных образцов и составляет 1.51–3.92 мкм. Свя-зано это с тем, что при увеличении ионной силы раствора дзета-потенциал системы стремится к нулю, что приводит к снижению агрегативной устойчивости и последующей коагуляции с той или иной скоростью. Система является нестабильной, становится бо-лее полидисперсной и содержит крупные агломераты, которые ме-шают выявлению более мелких частиц при использовании метода динамического рассеяния света (интенсивность рассеяния от более крупных частиц превышает интенсивность рассеяния от более мел-ких). В результате распределение частиц по размерам в таких си-стемах слабо воспроизводится. Средний гидродинамический диа-метр частиц является наиболее устойчивым параметром, подходя-щим для сравнения систем с высокой ионной силой между собой.

Авторы выражают признательность к.х.н. В.И. Михайлову, к.с.-х.н. Е.В. Жангурову и к.б.н. С.В. Деневой за помощь и ценные советы при проведении исследований.

Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП «Хи-мия» Института химии Коми НЦ УрО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

Слобода А.В. Характеристика состава фракций – 0.2 м почв средней тайги Коми АССР // Тезисы докладов на I Всесоюзном делегатском съез-де почвоведов. – Алма-Ата, 1970. – С. 18–22.

ГОСТ 26423-85 – ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения удель-ной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяж-ки. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 40 с.

Kaya A. Zeta potential of clay minerals and quartz contaminated by heavy metals / A. Kaya, Y. Yukselen // *Jornal Can. Geotech.* – 2005. – V. 42. – P. 1280.

Mikhaylov V.I. Heteroaggregation of cellulose nanocrystals with Fe_2O_3 nanoparticles / V.I. Mikhaylov, M.A. Torlopov, E.F. Krivoschapkina et al. // *Jornal Sol-Gel Sci Technol.* – 2017. – P. 1. doi.org/10.1007/s10971-017-4374-3

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА НАНОФРАКЦИИ ИЛЛЮВИАЛЬНО-ГУМУСОВО-ЖЕЛЕЗИСТОГО ПОДЗОЛА

В.А. Коряковцев¹, Е.В. Кызьюрова²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: vsevolod.koryakovtsev@gmail.com

Почва представляет собой полидисперсную систему, в которой первичные механические частицы и агрегаты имеют разнообразные размеры, колеблющиеся от сантиметров до микро- и нанометров. В дисперсных системах с частицами коллоидного размера развиваются важнейшие свойства, которые отличают их от молекулярных и ионных растворов, с одной стороны, и от грубых дисперсий и суспензий – с другой. Высокодисперсные частицы, перемещаясь по профилю, участвуют в дифференциации почвы на генетические горизонты. В этой связи изучение свойств коллоидных растворов и процессов остается весьма актуальной темой почвоведения. Коллоидные свойства почв Республики Коми изучены недостаточно, основной массив сведений относится к средне-таежным почвам (Слобода, 1970; Стенина, Слобода, 1970; Федотов, 2008).

Цель работы – изучение состава нанофракций образцов почв методами рентгенофазового анализа (РФА) и инфракрасной спектроскопии (ИК).

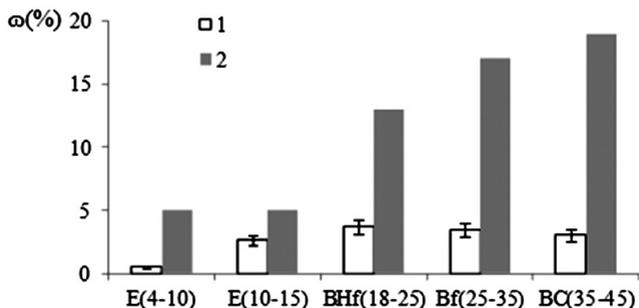
В качестве объекта исследования выбран подзол иллювиально-гумусово-железистый, район исследований – Средний Тиман (Республика Коми) (Жангуров, Голубева, 2010). Название почвы дано в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России (Шишов и др., 2004). Коллоидную фракцию выделяли по методике, предложенной ранее (Zhu et al., 2017). Для этого навеску почвы массой 6 г заливали 160 см³ деионизированной воды при температуре 25 °С. Суспензии диспергировали в ультразвуковой ванне, затем центрифугировали, после чего надосадочный раствор сливали в фарфоровые чашки, а осадок снова заливали деионизированной водой и повторяли диспергирование и центрифугирование. Процедуру повторяли 10 раз. Затем собранный в фарфоровых чашках надосадочный раствор сушили при 40 °С. Вопрос о влиянии режима пробоподготовки, в частности, получения почвенного материала в наноразмерном диапазоне дополнительно за счет физического дробления частиц, находящихся во фракциях с размером частиц $d > 10^{-6}$ м, в упоминаемом источнике литературы не освещается. Однако согласно исследованиям А.В. Юдиной (2018), данный способ пробоподготовки рекомендован в качестве

стандартного, так как он не приводит к дроблению частиц минеральной матрицы.

Рентгенофазовый анализ выделенных препаратов проводили на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-6000 с излучением $\text{Cu K}\alpha$ (длина волны 0.15406 нм) в интервале углов отражения $2\theta = 4-80^\circ$. Идентификацию пиков на дифрактограмме и расчет параметров элементарной ячейки проводили с помощью программного комплекса PDWin 4.0. ИК-спектры почвенных компонентов с преобразованием Фурье получали на спектрометре Shimadzu IRPrestige-21 в диапазоне 400–4000 cm^{-1} .

Массовая доля нанодракции в профиле почвы колеблется в диапазоне значений $\omega = 0.39-3.33\%$ и в образце горизонта BC (35–45 см) в 8.5 раз превышает этот показатель по сравнению с подзолистым горизонтом E (4–10 см) (см. рисунок). Методом РФА и ИК определен фазовый и функциональный состав нанодракции образцов почв. Установлено, что основной фазой изучаемых объектов является кварц $\alpha\text{-SiO}_2$, второй фазой – слоистый алюмосиликат, наиболее близкий по структуре к монтмориллониту. Объемная доля кварца в нанодракции горизонта E составляет 83.9%, алюмосиликата – 16.1%, соответствующие параметры нанодракции горизонта BC равны 64.4 и 35.6%.

Исследование образцов почв методом ИК выявило наличие полос, соответствующих кварцу, монтмориллониту и мусковиту. Анализ ИК-спектров позволяет говорить о том, что в нанодракции образца из горизонта E более высока доля органических компонентов по сравнению с образцом BC, так как четко проявляются полосы, соответствующие валентным и деформационным колебаниям CH_3 - и CH_2 -групп. Эти результаты согласуются с общим содержанием углерода органических соединений образцов. Кро-



Массовые доли нанодракции (1), илистой фракции (2) в горизонтах подзола иллювиально-гумусово-железистого (планками погрешности показано стандартное отклонение).

ме того, в образце горизонта Е идентифицируются ароматические структуры, которые могут входить в состав гумусовых соединений почв.

Авторы выражают признательность к.х.н. В.И. Михайлову и к.с.-х.н. Е.В. Жангурову за помощь и ценные советы при проведении исследований.

ЛИТЕРАТУРА

Жангуров Е.В. Морфогенетическая характеристика и петрографические особенности пород автоморфных почв Среднего Тимана / Е.В. Жангуров, И.И. Голубева // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2010. – № 2(182). – С. 13–17.

Слобода А.В. Характеристика состава фракций – 0.2 м почв средней тайги Коми АССР // Тезисы докладов на I Всесоюзном делегатском съезде почвоведов. – Алма-Ата, 1970. – С. 18–22.

Стенина Т.А. Характеристика подзолистых почв района исследований в подзоне средней тайги / Т.А. Стенина, А.В. Слобода // Современные процессы в подзолистых почвах северо-востока европейской части СССР. – Л.: Наука, 1970. – С. 15–16.

Федотов Г.Н. Структурная организация почвенных коллоидов / Г.Н. Федотов // Вестник Московского государственного университета леса. – 2008. – № 1. – С. 134–141.

Шишов Л.Л. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

Юдина А.В. От понятия элементарной почвенной частицы к гранулометрическому и микроагрегатному анализу почв (обзор) / А.В. Юдина, Д.С. Фомин, А.Д. Котельникова и др. // Почвоведение. – 2018. – № 11. – С. 1340–1362.

Zhu X. Evaluation of the stability of soil nanoparticles: the effect of natural organic matter in electrolyte solutions / X. Zhu, H. Chen, W. Li et al. // Eur. J. Soil Sci. – 2017. – № 68. – P. 105–114.

ФОРМЫ УГЛЕРОДА И АЗОТА МАРШЕВЫХ ПОЧВ (ХАЙПУДЫРСКАЯ ГУБА)

О.С. Кубик

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: kubik-olesia@yandex.ru

Трансформация соединений углерода (С) и азота (N) в почве является основой существования биосферы (Добровольский, Никитин, 1990). Арктические регионы более других подвержены климатическим изменениям, которые выражаются в повышении

среднегодовой температуры воздуха, таянии мерзлоты, увеличении масштабов береговой эрозии и стока рек, что в конечном итоге сказывается на цикле С и N (АСIA, 2004; IPCC, 2001). Сведения о современном состоянии почвенного покрова становятся фундаментом для оценки направленности продукционных и деструкционных процессов в экосистемах высоких широт и понимания основных трендов их развития. Исследование сопряженного круговорота углерода и азота в прибрежных почвах северных широт позволит проводить сравнительный анализ геохимических циклов элементов и определять основные тренды развития арктических экосистем в меняющихся условиях (Касимов и др., 2012; Орешникова и др., 2012). На сегодняшний день наименее изученным в этом вопросе остается побережье Баренцева моря, поэтому цель работы заключалась в выявлении основных закономерностей пространственного распределения различных форм углерода и азота в прибрежных почвах Баренцева моря (Хайпудырская губа).

Район исследований располагается в прибрежной части Хайпудырской губы Баренцева моря. Структура почвенного покрова территории характеризуется чрезвычайно высокой пестротой: в литоральной зоне под влиянием приливных нагонных морских вод формируются маршевые почвы (маршевая примитивная гитиевая иловато-легкосуглинистая – Почва I, маршевая дерново-глеевая легкосуглинистая – Почва II, маршевая примитивная дерново-глеевая легкосуглинистая – Почва III), а на высоких уровнях прибрежной части широкое распространение имеют почвы тундровых экосистем (торфяная олиготрофная мерзлотная – Почва IV и торфяно-глеезем криогенно-ожелезненный мерзлотный – Почва V). **Две последние почвы подвержены выпадению морских аэрозолей.** По снижению степени влияния морских вод как одного из факторов прибрежного почвообразования исследуемые почвы можно расположить в следующий ряд: Почва I (марши низкого уровня) → Почва II (марши среднего уровня) → Почва III (марши среднего уровня) → Почва IV (плоскополигональный болотный комплекс, влиянию засоленных вод подвергается редко) → Почва V (пушицево-кустарничковая моховая тундра).

Анализ проб почв провели в Институте биологии Коми НЦ УрО РАН физико-химическими методами (см. таблицу). Массовая доля общего углерода и азота в почвах измерена методом газовой хроматографии на CHNS-O-элементном анализаторе EA 1110 (Carlo Erba, Италия) по методике № 88-17641-94-2009 (ФР.1.31.2014.17663), согласно которой оценка углерода органических соединений может быть получена для почв с $pH_{H_2O} < 6.8$, где выполняется равенство $\omega(C_{\text{общ}}) = \omega(C_{\text{орг}})$. В менее кислых поч-

Химическая характеристика почв

Гори-зонт	Глубина, см	pH_{H_2O}	Массовая доля элемента в почве ω , г/кг			$\frac{C_{орг}}{N_{общ}}$	Массовая доля элемента в вытяжке из почвы ω , г/кг		$\frac{(C_{орг})_{H_2O}}{(N_{общ})_{H_2O}}$
			$C_{общ}$	$(C_{неорг})$	$N_{общ}$		$(C_{орг})_{H_2O}$	$(N_{общ})_{H_2O}$	
Почва I. Маршевая примитивная гиттиевая иловато-легкосуглинистая									
W	0–3	7.17	9.1 (1.8)	0.89	10	0.33	0.06	6	
ACao,h	3–24	5.98	41.0	3.30	14	0.11	0.01	13	
ACao,g	24–67	6.82	10.7 (0.4)	0.79	15	0.11	0.01	13	
CG	67–89	7.19	14.4 (0.8)	0.98	16	–	–	–	
Почва II. Маршевая дерново-глеевая супесчаная									
AYao	0–10	4.77	75.0	5.00	18	0.70	0.05	16	
AYh	10–19	5.52	13.4	0.95	16	0.09	0.01	10	
ACao,g	19–30	3.58	4.8	0.43	13	0.23	0.02	13	
CG	30–63	4.10	7.1	0.57	15	–	–	–	
CG	63–78	5.45	11.4	0.88	15	–	–	–	
Почва III. Маршевая примитивная дерново-глеевая тяжелосуглинистая									
AYao	0–4	6.21	6.1(0)*	0.49	15	0.78	0.06	15	
AYh	4–11	6.46	38.0(0)*	3.00	15	0.52	0.04	15	
ACao,h,g	11–30	6.69	26.0(0)*	1.80	17	0.17	0.02	10	
CG	30–57	7.20	5.3 (0.6)	0.32	17	–	–	–	
Почва IV. Торфяная олиготрофная мерзлотная									
O	0–1	3.87	434.0	7.90	64	7.35	0.22	39	
T1	1–16	3.96	447.0	14.00	37	3.86	–	–	
T2	16–23	3.98	444.0	18.00	29	3.59	0.22	19	
T _↓	23–30	4.04	468.0	20.00	27	–	–	–	
Почва V. Торфяно-глеезем криогенно-ожелезненный мерзлотный									
O	0–3	4.16	403	5.00	94	9.92	0.25	46	
T1	3–11	3.93	409.0	6.50	73	3.99	0.17	27	
T2	11–13	4.43	310.0	12.50	29	4.56	0.26	20	
G _{сфикс}	13–27	5.51	3.7	0.34	13	0.046	0.0020	27	
G1	27–38	5.48	3.9	0.35	13	0.030	0.0011	32	
G2	38–55(69)	5.53	7.5	0.50	16	0.048	0.0021	27	
G _↓	55(69)–76	5.92	4.6	0.33	18	0.041	0.0016	30	

Примечание. Прочерк – не определено, (0)* – содержание углерода неорганических соединений в виде карбонатов ниже предела обнаружения.

вах $\omega(C_{общ}) > \omega(C_{орг})$ вследствие присутствия неорганического углерода, не выявленного при морфологическом описании, поэтому для образцов почв с $pH_{H_2O} > 6.8$ объемно-метрическим методом на кальциметре 08.53 Eijkelkamp (SA07, США-Нидерланды) (ISO 10693) выполнено измерение показателя содержания карбонатов в почве: массовую долю углерода органических соединений в этих образцах находили по разности общего углерода и углерода неорганических соединений: $\omega(C_{орг}) = \omega(C_{общ}) - \omega(C_{неорг})$. Водные вы-

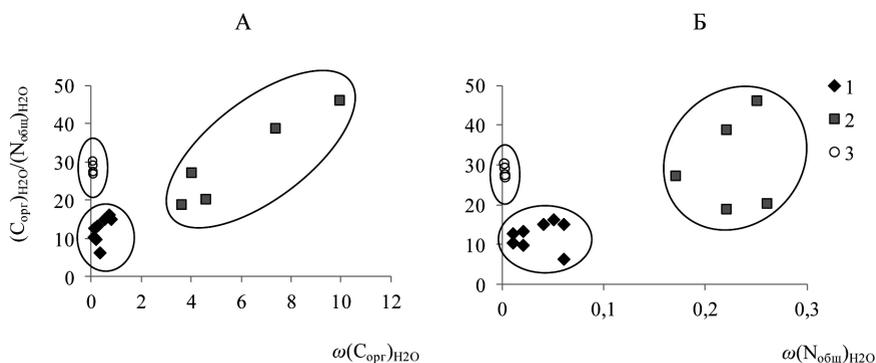
тяжки из почв готовили в соотношении 1:25 и 1:2.5 для органоминеральных и минеральных горизонтов соответственно. Обработку аналитических данных проводили с использованием пакета программы EXCEL 5.0.

В рамках данного исследования были выделены две группы почв, существенно различающихся по содержанию элементов: маршевые почвы и почвы тундровых экосистем. В засоленных маршевых почвах содержание $C_{\text{орг}}$ варьирует по горизонтам от 5 до 75 г/кг, $N_{\text{общ}}$ – от 1 до 5 (см. таблицу). Доля водорастворимых форм элементов составляет 0.3–13%. В средней части профиля (3–30 см) выделены гумусово-аккумулятивные горизонты, погребенные современными морскими отложениями. В почвах тундровых экосистем содержание углерода органических соединений составляет 430–470 г/кг, общего азота 4–7. Соответствующие показатели для водных экстрактов горизонтов торфяной толщи равны 4–10, ~0.3 г/кг. В подстильно-торфяных горизонтах выражено накопление общего углерода водорастворимых органических соединений. Надмерзлотная толща (твердая и жидкая фазы) характеризуется аккумуляцией элементов (до 1.6 раза) по сравнению с нижележащим мерзлотным горизонтом.

Содержание углерода неорганических соединений в почвах маршей варьирует в пределах 0.4–1.8 г/кг (4–20% от общего содержания элемента), в водных вытяжках – 0.02–0.11 г/кг. Более других $C_{\text{неорг}}$ содержит почва маршей низкого уровня, а в ней – поверхностный слой. Накопление гидрокарбонат-иона отмечено в трех верхних горизонтах маршевых примитивных почв. Главными источниками неорганического углерода являются морская вода и карбонатные отложения, приносимые морем.

Значения $C_{\text{орг}}/N_{\text{общ}}$ изучаемых маршевых почв и их водорастворимой фракции близки и составляют 10–16. В торфяных горизонтах тундровых почв отношение элементов равно 64–95, в водных экстрактах 20–50, с глубиной C/N снижается в три-семь раз. Отношение органического углерода к общему азоту водных вытяжек из почв отражает различие генезиса прибрежных почв, а также природы органического вещества, приуроченного к разным частям профиля (см. рисунок), потому может быть рекомендовано в качестве маркера процессов почвообразования.

Таким образом, показана пространственная дифференциация различных форм углерода и азота прибрежных почв Хайпудырской губы Баренцева моря. Сведения о фоновых уровнях содержания C и N могут быть полезны для регионального и локального мониторинга, важны в деле решения задач сохранения и поддержания биоразнообразия Арктики в целом.



Взаимосвязь $(C_{\text{орг}})_{\text{H}_2\text{O}}/(N_{\text{общ}})_{\text{H}_2\text{O}}$ с содержанием органического углерода (г/кг, А) и общего азота (г/кг, Б) в водных вытяжках из маршевых почв (1), органогенных горизонтов торфяной олиготрофной почвы и торфяно-глеезема (2), минеральных горизонтов торфяно-глеезема (3).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта Комплексной программы УрО РАН № 18-9-4-13 «Междисциплинарный синтез – ключ к познанию функционирования приморских арктических экосистем России в свете нарастающих угроз современности (на примере Баренцева моря)».

ЛИТЕРАТУРА

Добровольский Г.В. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв) / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 1990. – 262 с.

Касимов Н.С. Современная геохимическая эволюция лагунно-маршевых ландшафтов западного Прикаспия / Н.С. Касимов, М.С. Касатенкова, А.Н. Геннадиев, М.Ю. Лычагин // Почвоведение. – 2012. – № 1. – С. 9–20.

Методика выполнения измерений содержания углерода и азота в твердых объектах методом газовой хроматографии, № 88-17641-94-2009 (ФР.1.31.2014.17663), с изменением № 1 от 16.01.2014. – Сыктывкар, 2009. – 12 с.

Орешникова Н.В. Маршевые почвы Карельского берега Белого моря / Н.В. Орешникова, П.В. Красильников, С.А. Шоба // Вестн. МГУ. Сер. 17: Почвоведение. – 2012. – № 4. – С. 13–20.

ACIA, Impacts of Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. – Cambridge University Press, 2002. – 140 p.

IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change. – Geneva, Switzerland, 2007. – 18 p.

ISO 10693:1995. Soil quality – Determination of carbonate content – Volumetric method. 1995. – P. 9.

АДАПТАЦИЯ ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ К ДЕГРАДАЦИИ МЕРЗЛОТЫ И ПОВЫШЕНИЮ ТЕМПЕРАТУР ПОЧВ

Н.М. Петржик¹, А.А. Бобрик¹, Д.Г. Петров²

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

² Институт географии РАН

E-mail: petrzhik.nat@mail.ru

В течение последних десятилетий планета нагревается быстрее, чем в предыдущем тысячелетии, особенно на полюсах (Kirtman et al., 2013). Одно из наиболее ожидаемых последствий изменения климата в Арктике – увеличение почвенных температур (Maxwell, 1992). Известно, что криогенные почвы аккумулялировали органическое вещество тысячелетиями и сейчас в почвах Арктики содержится почти в два раза больше углерода, чем в атмосфере (Kuhry, 2009). При увеличении температур почв прогнозируется усиление потоков углерода между атмосферой и почвой (Koven et al., 2011). Круговорот углерода в криогенных почвах регулируется сложным взаимодействием между температурой, влажностью, доступностью кислорода, питательных веществ и т.д., но факторы, ответственные за разложение органического вещества почв и таяния мерзлоты, изучены недостаточно (Walz, 2017). Для понимания процессов, а также их взаимосвязи в наземных экосистемах и последующего построения моделей отклика экосистем на любые изменения необходим большой объем эмпирических данных. Исследователи все чаще ставят эксперименты по поднятию температур почв. Полевые эксперименты лучше симулируют естественные процессы в отличие от лабораторных, но тоже имеют ряд недостатков. Так, почти все полевые эксперименты либо незначительно поднимают почвенные температуры (1–2 °С – камеры с открытым верхом, нагревание ИК теплом) либо сильно повреждают почву (3–5 °С – нагревающие ленты, трансплантация), но ни один из способов не позволяет нагреть протяженные расстояния.

Цель работы – оценить, как адаптируются тундровые экосистемы и входящие в них почвы к деградации мерзлоты и повышению температур почв.

Мы используем уникальный подход к нагреванию почв. Начиная с 1960-х гг. на севере России активно развивается нефтяная и газовая промышленность. Углеводороды транспортируют по трубам в нагретом состоянии, что обуславливает потепление почв и деградацию мерзлоты. Перед нами широкомасштабный долговременный эксперимент по нагреванию экосистем Севера.

Объект исследования – тундровые экосистемы и почвы, подвергнувшиеся отепляющему воздействию газопровода после 10 и 20 лет эксплуатации. Исследования проводили в Большеземельской тундре на границе Республики Коми и Ямало-Ненецкого АО (N 68°6'0.80", E 65°17'37.90") и в южной тундре Надымского района (N 67°29'31.00", E 76°39'59.50") соответственно. Участки с максимальной трансформацией растительности и гидрологических условий были выбраны с помощью спутниковых снимков.

В полевых экспедициях (август 2017 и 2018 гг.) тундровые экосистемы изучали методом трансект: шесть параллельных трансект были заложены на нагретом и контрольном участках с пятью пикетами на каждом. На всех пикетах изучена морфология почв, проведены геоботанические описания и измерена средняя высота типичного кустарничка (*Betula nana* L.). Глубина сезонно-талого слоя (СТС) измерена мерзлотным щупом, влажность почв (0–20 см) – полевым влагомером, почвенные температуры – щупами (0–10 см). Эмиссию CO₂ измеряли методом статичных закрытых камер. В лаборатории измерены рН, базальное (БД) и субстрат-индуцированное (СИД) дыхание почв, общий углерод.

На нагретых участках отмечено увеличение температур почв на 4–6 °C (с 2.7±0.2 до 9.4±0.2 после 10 лет нагрева и с 3.2±0.2 до 9.6±0.8 после 20 лет) и увеличение глубины СТС в два раза (с 38.7±2.3 до 89.6±5.0 см и с 34.5±3.8 до 55.0±3.9 см соответственно). Отмечено, что в результате нагревания почв и деградации мерзлоты изменяется состав растительного сообщества (увеличивается доля трав, осок и кустарничков, уменьшается количество мхов и лишайников) и возрастает высота *Betula nana* L. в два-три раза (с 16.7±2.1 до 31.0±1.0 и с 19.0±1.6 до 55.6±3.9 см соответственно). Изменение эмиссии CO₂ слабо заметно после 10 лет нагревания, но после 20 лет она удваивается (с 104.7±9.1 до 204.6±15.6 мг CO₂/(м²ч)). Изменяется морфология почв, однако такие свойства почв, как рН и влажность достоверно не изменяются даже после 20 лет нагрева. Отмечено, что микробиота органических горизонтов, в отличие от минеральных, более чувствительна к повышению температуры – снижается БД (с 33.33±3.09 до 18.24±1.0 мкг С-CO₂/г почвы ч после 10 лет и с 20.21±2.48 до 12.20±2.49 после 20 лет) и СИД (с 47.21±5.54 до 31.70±3.31 соответственно) на нагретых участках примерно в два раза. После 10 лет нагрева почвенная микробиота испытывает больший стресс, чем после 20, что, вероятно, связано с более резким изменением различных параметров функционирования экосистем. Рассчитанные запасы почвенного углерода для органических горизонтов увеличиваются в два раза уже в случае 10-летнего нагревания

(с 6.13 ± 1.58 до 12.20 ± 1.41 т/га) при его неизменных величинах в минеральных горизонтах (3.10 ± 0.77 на контрольном и 2.75 ± 0.51 т/га на нагретом участке).

Тундровые экосистемы сильно трансформируются в результате повышения почвенных температур на $4-6$ °С и деградации мерзлоты (растительность, биологическая активность почв), однако почвы являются буферными системами и свойства почв (влажность, рН) меняются незначительно за 20-летний срок.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-04-00952А).

ЛИТЕРАТУРА

Kirtman B. Near-term climate change: projections and predictability / B. Kirtman, S. B. Power, A. J. Adedoyin et al. // *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of IPCC*. – New York: Cambridge University Press, 2013. – P. 953–1028.

Koven C. D. Permafrost carbon-climate feedbacks accelerate global warming / C.D. Koven, B. Ringeval, P. Friedlingstein et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2011. – V. 108(36). – P. 14769–14774.

Kuhry P. Report from the International Permafrost Association: carbon pools in permafrost regions / P. Kuhry, C.L. Ping, E.A. Schuur et al. // *Permafrost and Periglacial Processes*. – 2009. – V. 20(2). – P. 229–234.

Maxwell B. Arctic climate: potential for change under global warming / B. Maxwell // *Arctic ecosystems in a changing climate: an ecophysiological perspective*. – San Diego: Academic press, 1992. – P. 11–34.

Walz J. Regulation of soil organic matter decomposition in permafrost-affected Siberian tundra soils-Impact of oxygen availability, freezing and thawing, temperature, and labile organic matter / J. Walz, C. Knoblauch, L. Böhme, E.M. Pfeiffer // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2017. – V. 110. – P. 34–43.

ВКЛАД КОРНЕВОГО И МИКРОБНОГО ДЫХАНИЯ В ПРОДУКЦИЮ CO_2 ПОЧВАМИ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.Р. Сефилян, О.Ю. Гончарова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

E-mail: a5nn7a-sefe@mail.ru

Раздельное определение вклада дыхания корней и микроорганизмов в эмиссию углекислого газа с поверхности почвы является одной из важнейших методологических задач современного почвоведения и экологии. Данная проблема тесно связана с моделированием круговорота углерода в наземных экосистемах, прогнозированием глобальных изменений климата, разработкой и прове-

дением мероприятий по уменьшению содержания парниковых газов в атмосфере.

Цель работы – оценка вклада дыхания автотрофов и гетеротрофов в суммарную эмиссию CO_2 почвами на основе комплекса методов.

Исследуемый участок расположен на севере Западной Сибири (ЯНАО, Надымский район, Тюменская область) в пределах распространения северной границы таежной зоны. Территория характеризуется высокой обводненностью и наличием прерывистой мерзлоты, приуроченной к массивам торфяников. Климат района среднеконтинентальный с очень холодной зимой, среднее значение годовых температур составляет $-4.5\text{ }^\circ\text{C}$, среднее количество осадков 550 мм.

В качестве ключевых объектов выбраны три участка, которые находятся в пределах небольшой площади. Они расположены в разных экосистемах: лесной, на крупнобугристом торфянике и на плоскобугристом торфянике, для которых характерны разные почвы – подзол, торфяно-олиготрофная остаточно-эутрофная и торфяно-криозем соответственно.

Для определения доли микробного и корневого дыхания существуют изотопные и неизотопные методы. Мы апробировали несколько неизотопных полевых методов. К ним относятся метод затенения, метод исключения корней, метод интеграции компонентов.

С помощью метода затенения растений можно вычислить долю корневого дыхания, сравнив значения эмиссии на затененных с помощью светонепроницаемого навеса участках со значениями эмиссии на контрольных участках без затенения (Craine et al., 1999). Освещенность на затененных участках уменьшается в 200–4000 раз. На графике 1 (рис. 1) видно, что эмиссия CO_2 на торфянике в ходе эксперимента уменьшилась на 20%, а на лесном участке на 52%. Однако, дыхание корней подавляется не полностью, так как при затенении у растения остается дыхание поддержания. Доля корневого дыхания с учетом неполного подавления дыхания составила 29–58% для плоскобугристого торфяника, 30–39% – для лесного участка.

Второй метод – метод исключения корней – основан на удалении всех корней из верхних 30 см почвы (Кузяков, 2006). Однако мы работали с уникальным природным аналогом. Он представлен торфяными пятнами, лишенными растительности, корней и подземных побегов растений. Данные пятна расположены на крупнобугристом торфянике, который покрыт травянистой растительностью, ягелем и кустарничками багульника, за исключени-

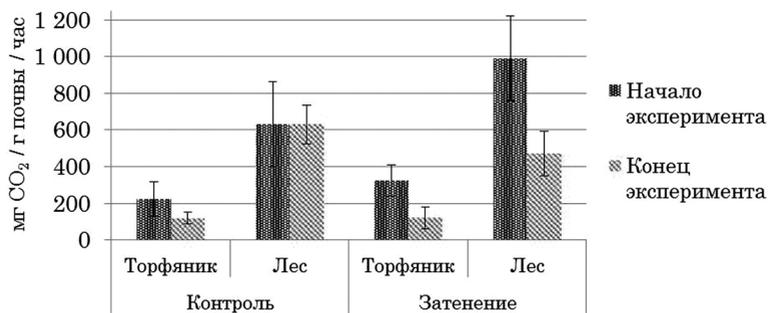


Рис. 1. Сравнение значений эмиссии CO₂ до и после затенения на двух участках (плоскобугристый торфяник и сосняк кустарничково-зеленомошный). Бары – стандартное отклонение.

ем оголенных пятен. Эксперимент проводился в течение нескольких лет. В качестве примера приведены данные за один год. Было произведено измерение эмиссии на 10 участках без корней (среднее значение эмиссии CO₂ равно 98.9 мг/(м²ч) и 10 участках с типичной растительностью (среднее значение эмиссии CO₂ равно 180 мг/(м²ч). Были выявлены различия в микробной активности почв (базальное дыхание) торфяных пятен и почв с типичной растительностью. Эти различия были учтены в расчетах. Вклад в дыхание почв торфяных пятен оказывает только микробная биомасса, а для соседних участков почв (с типичной растительностью, корнями) характерно как микробное, так и корневое дыхание. Таким образом, мы рассчитали величину корневого дыхания, она равна 81.1 мг/(м²ч). График 2 (рис. 2) показывает, как соотносятся величины эмиссии CO₂ на участках торфяных пятен и участках с типичной растительностью.

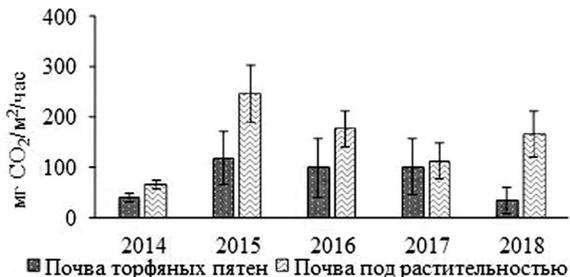


Рис. 2. Сравнение значений эмиссии CO₂ с поверхности почвы двух участков (с растительным покровом и без) в период с 2014 по 2018 г. Бары – стандартное отклонение.

По усредненным данным за несколько лет вклад корневого дыхания в общую эмиссию CO_2 с поверхности почв крупнобугристого торфяника составил 46%.

Также метод исключения корней был опробован еще на одном участке, который представляет собой две граничащие экосистемы – сосняк кустарничково-зеленомошный и сосняк лишайниковый (он же беломошник), где практически отсутствуют сосудистые растения, за исключением разреженных одиночных деревьев. Запас корней в сосняке в 5–14 раз выше, чем на участке с лишайниковым покровом. Граница между этими экосистемами ясная в пределах 1 м. Вклад дыхания корней, как и на другом участке с торфяными пятнами рассчитывается по разнице эмиссий с учетом разницы в температуре, величине микробного дыхания, нормированного по плотности. С учетом всех корректировок доля корневого дыхания для сосняка зеленомошного составила в среднем 61%. На графике 3 (рис. 3) представлены средняя величина эмиссии CO_2 с поверхности почвы на участках сосняка лишайникового и кустарничково-зеленомошного.

Третий метод – метод интеграции компонентов – основан на физическом разделении пулов углерода, вносящих вклад в потоки CO_2 , и измерении удельных скоростей дыхания автотрофной и гетеротрофной компонент в контролируемых условиях (Hanson et al., 2000). Мы получили данные по удельному дыханию корней сосудистых растений разных видов, доминирующих на территории исследования. Для конечных расчетов использовались усредненные данные. Также при расчетах был учтен запас корней в 20-сантиметровом слое площадью 1 м² и плотность почвы. По усредненным данным за несколько лет вклад корней в дыхание



Рис. 3. Сравнение значений эмиссии CO_2 с поверхности почвы сосняка лишайникового и сосняка кустарничково-зеленомошного (в двух повторностях) в период с 2014 по 2018 г. Бары – стандартное отклонение.

почвы для подзола сосняка зеленомошного – $29 \pm 3\%$, для торфяной почвы плоскобугристого торфяника – $14 \pm 6\%$, для торфяной мерзлотной остаточной эутрофной почвы крупнобугристого торфяника – 40% .

По данным нескольких лет наблюдений вклад дыхания корней в среднем по комплексу методов составил для плоскобугристого торфяника около 20% , для крупнобугристого торфяника – 40% , для сосняка кустарничково-зеленомошного – 60% , для сосняка лишайникового – 30% .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-04-00952А).

ЛИТЕРАТУРА

Кузяков Я.В. Вклад ризомикробного и корневого дыхания в эмиссию / Я.В. Кузяков, А.А. Ларионова // Почвоведение. – 2006. – № 7. – С. 842–854.

Craine J.M. Predominance of ecophysiological controls on soil CO_2 flux in a Minnesota grassland / J.M. Craine, D.A. Wedin, F.S. Chapin // Plant Soil. – 1999. – V. 207. – P. 77–86.

Hanson P.J. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations / P.J. Hanson, N.T. Edwards, C.T. Garten et al. // Biogeochemistry. – 2000. – № 48. – P. 115–146.

РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДЕФОРМАЦИОННОМ ПОВЕДЕНИИ ПОЧВ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

В.В. Старцев

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: vik.startsev@gmail.com

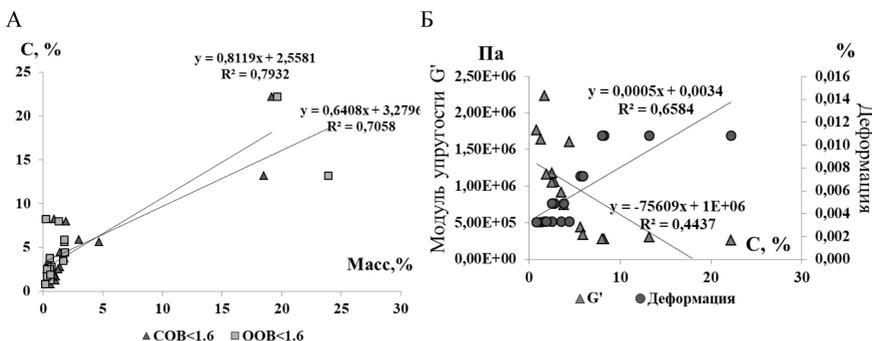
Органическое вещество (ОВ) в почвах имеет важное экологическое значение. ОВ является источником поступления углерода в атмосферу, резервуаром элементов питания и т.д. Кроме этого, ОВ определяет физические свойства почв, участвует в формировании почвенной структуры (Loveland, Webb, 2003). В настоящее время наиболее информативным подходом к изучению физических свойств почв является реология (Хайдапова и др., 2016). Реологические исследования почв позволяют получить данные о качестве структурных связей, деформациях тел и прочности. Однако работ по реологии для почв горных территорий практически нет.

Цель работы – изучить влияние органического вещества на реологические свойства почв Приполярного Урала.

Объекты исследования расположены на территории национального парка «Югыд ва» в северной части Приполярного Урала. Были исследованы почвы горно-тундрового пояса на вершинах склонов, подгольцового и горно-лесного поясов и горно-тундрового пояса в нижних частях склонов с многолетнемерзлыми породами (ММП) (Старцев и др., 2017). Были исследованы два верхних минеральных горизонта из 16 почвенных разрезов по четыре из каждого растительного пояса. ОВ изучено с помощью метода физического фракционирования по плотности (Grunewald et al., 2006; Cerli et al., 2012). Были выделены три денсиметрические фракции: свободное ОВ ($COB_{<1.6}$ с плотностью $<1.6 \text{ г см}^{-3}$), окклюдированное ОВ ($OOB_{<1.6}$) и тяжелая фракция ОВ ($TF_{>1.6}$). Исследования реологических параметров проводили на модульном реометре MCR-302 (Anton-Paar, Австрия). Получены следующие реологические параметры: модуль упругости G' (Па) – мера энергии, направленная на восстановление полученной деформации почвенной структуры; LVE-range – диапазон вязкоупругого поведения (упругой деформации) образца; Crossover (%) – диапазон пластичной деформации, после которого происходит полное разрушение структуры.

В результате фракционирования ОВ выявлено, что в почвах основой является тяжелая органоминеральная фракция $TF_{>1.6}$. Ее доля варьирует от 57 до 99% в верхних минеральных горизонтах. Доли легких фракций значительно ниже. Однако в почвах горно-тундрового пояса они достигали до 18% свободного ОВ и 23% – окклюдированного. Также высокими долями характеризуются горизонты почв с ММП (до 19% фракций $COB_{<1.6}$ и $OOB_{<1.6}$). Выявлено, что максимальные концентрации углерода характерны для фракций $COB_{<1.6}$ и $OOB_{<1.6}$, минимальные – для тяжелой фракции ($TF_{>1.6}$).

Полученные результаты реологических параметров позволили выявить, что верхние минеральные горизонты имеют слабые межчастичные контакты по сравнению с нижележащими горизонтами. Показатель G' характеризует взаимодействие между частицами в почве – чем он выше, тем контакты сильнее. Это объясняется более высокими показателями содержания ОВ в верхних минеральных горизонтах по сравнению с нижними. Концентрация углерода зависит от содержания легких фракций ОВ (см. рисунок, А). Образцы с большим содержанием углерода поглощают и удерживают большее количество влаги, что приводит к увеличению влажности максимального набухания и росту толщины исследуемого почвенного образца. В результате частицы находятся на большом расстоянии друг от друга, что мешает им установить



Корреляция между содержанием углерода и массой легких фракций ОВ (А), модулем упругости (G') и деформации, % с содержанием углерода (Б).

крепкие контакты. Таким образом, повышается устойчивость почвы, но уменьшаются сила межчастичных контактов. Наиболее сильными контактами характеризуются верхние горизонты почв горно-лесного пояса.

Значения упругой деформации в области вязкоупругого поведения (LVE-range) отражают устойчивость структурных связей почв. Максимальными значениями предела упругой деформации обладают верхние минеральные горизонты, характеризующиеся большим содержанием ОВ и высоким процентом содержания легких денсиметрических фракций в основе почвенного образца. Выявлена корреляция между реологическими параметрами и содержанием органического углерода (см. рисунок, Б). Аналогичные закономерности прослеживаются при переходе почвы в вязкое состояние с полным разрушением структуры (Crossover). Чем выше параметр пластичной деформации, тем более пластичные связи в почве. Почвы, формирующиеся под луговой растительностью, в суровых климатических условиях горной тундры и подстилании ММП лучше сохраняют или консервируют ОВ в верхних минеральных горизонтах, чем в почвах горно-лесного пояса и тем самым обладают лучшей устойчивостью к нагрузкам

Оценивая вклад ОВ фракций $COB_{<1,6}$ и $OOB_{<1,6}$, можно предположить, что именно легкие фракции и ОВ в них играют ключевую роль при определении прочности межчастичного взаимодействия в почвах, увеличении пластичности и устойчивости почв. В целом почвы Приполярного Урала характеризуются преобладанием упругопластических структурных взаимодействий между частицами в почвенной системе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-34-00618 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

Старцев В.В. Характеристика почв высотных поясов хребта Яптик-нырд (Приполярный Урал) / В.В. Старцев, Е.В. Жангуров, А.А. Дымов // Вестник Томского государственного университета: Биология. – 2017. – № 38. – С. 6–27.

Хайдапова Д.Д. Реологические свойства черноземов типичных (Курская область) при различном землепользовании / Д.Д. Хайдапова, В.В. Честнова, Е.В. Шейн и др. // Почвоведение. – 2016. – № 8. – С. 955–963.

Cerli C. Separation of light and heavy organic matter fractions in soil-testing for proper density cut-off and dispersion level / C. Cerli, L. Celi, K. Kalbitz et al. // Geoderma. – 2012. – V. 170. – P. 403–416.

Grünewald G. Organic matter stabilization in young calcareous soils as revealed by density fractionation and analysis of lignin-derived constituents / G. Grünewald, K. Kaiser, R. Jahn et al. // Organic Geochemistry. – 2006. – V. 37. – P. 1573–1589.

Loveland P. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review / P. Loveland, J. Webb // Soil Tillage Res. – 2003. – V. 1. – P. 1–18.

СОЕДИНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ И ВОДАХ БОЛОТНО-ТОРФЯНОГО КОМПЛЕКСА (НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

М.В. Тимофеева, О.Ю. Гончарова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
E-mail: mtimofeeva02@gmail.com

Северные экосистемы являются важным компонентом глобального цикла углерода на планете. Высокие запасы углерода, законсервированного в торфяниках криолитозоны, подвержены наблюдаемым в настоящее время изменениям климата. При таянии многолетнемерзлых пород (ММП) изменяются гидрологические условия территории, что оказывает влияние на состав и свойства органического вещества, функционирование экосистем в целом (Olefeldt, 2012), так как баланс углерода может изменяться не только в сопряженных водных экосистемах (Fellman, 2008), но и на площади всего водосбора. Почвенные воды являются связующим звеном между торфяниками и крупными водосборами и выступают индикатором, который чутко улавливает биогеохимические трансформации соединений, попадающих в эти воды. Они оказывают огромное влияние на потоки растворенных органических веществ и связанных с ними элементов, также определяя гидрохимические параметры рек и озер.

Цель работы – оценить закономерности перераспределения органических соединений углерода в почвах и водах плоскобугристых торфяников и сопряженных с ними гидроморфных экосистем. Задачи: оценить содержание общего, дисперсного, водорастворимого и водоизвлекаемого углерода в почвенных, надмерзлотных и других водах отдельного торфяно-болотного комплекса и в природных водах разных гидрологических объектов на территории севера Западной Сибири; оценить вклад факторов среды (температура, влажность, рН, мощность сезонно-талого слоя (СТС) в перераспределение форм соединений углерода в пределах изучаемого комплекса.

Исследования проводили в августе 2018 г. на территории полевого стационара «Надым» (север Западной Сибири, ЯНАО). Изучаемый регион расположен в пределах северной границы распространения северной тайги. Для него характерны продолжительный зимний период, низкая среднегодовая температура воздуха, высокая обводненность территории и наличие прерывистых ММП, приуроченных к массивам торфяников. Ландшафты территории представлены как собственно олиготрофными болотами, так и специфическими вариантами мерзлотного рельефа – бугристыми торфяниками различного генезиса и возраста, формирующимися при активном влиянии ММП. Бугристые торфяники представляют собой комплексное торфяно-болотное образование, основными компонентами которого являются мерзлые торфяные бугры и разделяющие их мочажины.

В качестве основного объекта выбран плоскобугристый торфяник овальной формы площадью около 600 м². На изучаемом торфянике заложено 40 точек опробования, расположенных четырьмя кругами с охватом всей площади. Три круга (центральный, средний, краевой) расположены на самом торфянике, четвертый – на болоте в непосредственной близости от края торфяника. В ложбинах стока, примыкающих к торфянику, заложены четыре трансекты по три-пять точек, расположенных на расстоянии 10–20 м друг от друга. В качестве дополнительных взяты водные объекты (озера, старицы), близко расположенные к изучаемому торфянику.

В каждой точке опробования на торфянике определены температура, объемная влажность, мощность СТС. В болотной воде вокруг торфяника определены рН, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), электропроводность. Из каждой точки отобраны пробы воды и почвы для анализа содержания форм соединений органического углерода.

В лабораторных условиях в водных пробах определено содержание органического углерода разных фракций: 1) $C_{\text{орг}}$ (общий органический углерод) – органический углерод в воде, химически связанный в растворенных или суспензированных субстанциях, определяли в природных водах, отфильтрованных через «белую ленту»; 2) РОУ (водорастворимый органический углерод) – органический углерод, проходящий через фильтр с диаметром пор 0.45 мкм, определяли в природных водах, отфильтрованных через фильтр с диаметром пор 0.45 мкм; 3) ДОУ (дисперсный органический углерод) – это органический углерод, который содержится в частицах, диаметр которых больше 0.45 мкм, определяли как разность значений между $C_{\text{орг}}$ и РОУ. Для почвенных образцов определяли массовую влажность и готовили водную вытяжку в соотношении почва:вода 1:25 (торфяные образцы). В полученных вытяжках определяли водоизвлекаемый органический углерод (ВОУ) – это углерод, полученный путем экстракции заданной массы или объема почвы водным раствором.

В результате проведенных полевых и лабораторных исследований выявлены следующие закономерности. Наиболее холодной является средняя часть торфяника: температура почвы на глубине 10 см здесь не превышает 5 °С, что объясняется минимальными значениями (в среднем 0.3 м) СТС на этом участке. Температура в центральной и краевой частях торфяника выше, достигает 6.2 и 7.3 °С соответственно. Мерзлота на болоте, окружающем торфяник, отсутствует, соответственно, температура воды в болоте гораздо выше: варьирует в узких пределах от 11.0 до 12.4 °С и в среднем составляет 12 °С. Объемная влажность почвы (в верхнем 20-сантиметровом слое) для всех участков торфяника характеризуется низкой пространственной вариабельностью (коэффициент вариации 16%). Максимальные значения влажности характерны для болотной части: влажность здесь варьирует от 58.9 до 62%. Болотная вода характеризуется сильно кислым рН (максимальное значение – 4.1), низким ОВП (в среднем 335 мВ) и низкой электропроводностью (не выше 85 мс).

При анализе данных по содержанию углерода установлено, что максимальные значения как РОУ, так и ДОУ характерны для срединной части торфяника. Содержание РОУ в целом варьирует от нескольких десятков до 200 мг/л и для средней части составляет в среднем 200 мг/л. Содержание ДОУ существенно ниже, максимальные величины – около 120 мг/л. Содержание ВОУ на торфянике варьирует в широких пределах – от 380 до 1900 мг/г почвы, в среднем составляя 800 мг/г почвы. На краевых частях торфяника в отдельных точках его содержание достигает 1900 мг/г

почвы. Анализ содержания углерода в водных объектах показал, что максимальные значения содержания фракций органического углерода характерны для болотных экосистем.

Все изученные факторы среды (мощность СТС, влажность и температура почвы) на изучаемом торфянике характеризуются низкой пространственной вариабельностью. Минимальные значения температуры и мощности СТС характерны для срединной части торфяника. Болотные воды вокруг торфяника характеризуются как кислые, с низким показателем ОВП и малыми значениями электропроводности. Содержание органических соединений углерода ($C_{\text{общ}}$ и РОУ) характеризуется неравномерным распределением по торфянику: максимальные значения характерны для срединной части торфяника. Содержание ВОУ на торфянике варьирует в широких пределах – от 380 до 1900 мг/г почвы, в среднем составляя 800 мг/г почвы. В природных водах максимальное содержание соединений углерода всех фракций характерно для болотных экосистем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-04-00952А).

ЛИТЕРАТУРА

Olefeldt D. Effects of permafrost and hydrology on the composition and transport of dissolved organic carbon in a subarctic peatland complex / D. Olefeldt, N. T. Roulet // *Journal of Geophysical Research*. – 2012. – V. 117 (G1). – P. G01005.

Fellman J.B. An evaluation of freezing as a preservation technique for analyzing dissolved organic C, N and P in surface water samples / J.B. Fellman, D.V. D'Amore, E. Hood // *Science of the Total Environment*. – 2008. – N 392. – P. 305–312.

ВЛИЯНИЕ УВЛАЖНЕНИЯ/ИССУШЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ БУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКОВ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

С.В. Чуванов, М.О. Тархов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

E-mail: stas.chuванov@gmail.com

Торфяники хранят до 30% мирового запаса почвенного углерода. Известно, что гумификация и минерализация органического вещества почв зависят от температуры и влажности. В современных условиях в связи с климатическими изменениями становится актуальной оценка влияния динамики этих показателей на

биологическую активность почв. Особенно это важно для экосистем Севера, так как прогнозируемое потепление климата и таяние мерзлоты могут привести к существенному изменению гидрологического режима почв Севера. Осушение почв может ускорить минерализацию органического вещества, а значит, и высвободить дополнительный CO_2 в атмосферу, тогда как переувлажнение, наоборот, может снизить эмиссию CO_2 , но увеличить продукцию CH_4 (Natali, 2015).

Цель работы – изучение влияния влажности на биологическую активность почв бугристых торфяников севера Западной Сибири. Была поставлена задача в полевых условиях изучить влияние влажности на эмиссию CO_2 торфяных почв, а в лабораторных – на скорость минерализации органического вещества нарушенных и ненарушенных образцов торфяных почв.

Исследования проведены на севере Западной Сибири (Надымский район, Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, E 72°51'04.20", N 65°17'43.36") в 30 км к юго-востоку от г. Надым в зоне северной тайги, южной границе распространения прерывистой мерзлоты. Экспериментальный участок представлен плоскобугристым торфяником, сформированным за счет поднятия массивов болотных экосистем под действием криогенного пучения (Матышак, 2017). Объект исследования – типичная почва торфяно-криозем (Т1-Т2-СR-С₁).

В полевых условиях проведено измерение эмиссии CO_2 методом закрытых камер (Смагин, 2009), температуры и влажности для трех вариантов эксперимента: «естественный градиент влажности» – на одном плоскобугристом торфянике выбраны участки с отличающейся влажностью, однотипным растительным и почвенным покровом и измерена эмиссия в трехкратной повторности ежедневно в течение пяти дней; «манипуляционное увлажнение» – измерена эмиссия после искусственного увлажнения участков, «трансплантация» – перенос образца ненарушенного строения на участки, резко отличающиеся по влажности, и измерение эмиссии после переноса.

Для лабораторного этапа в поле были отобраны образцы торфа из горизонтов Т1 и Т2 торфяно-криозема. Т1 представлял собой сфагновый слаборазложенный торф, образец горизонта Т2 являлся сильноразложенным ерниково-осоковым торфом. Изучена динамика скорости минерализации (базальное дыхание) в зависимости от влажности почвы. Образцы торфа естественной влажности гомогенизировались и просеивались через трехмиллиметровое сито.

Далее было подготовлено 10 вариантов образцов торфа Т2 разной влажности (с шагом в 10% ППВ) путем добавления воды или подсушивания образца. Образцы прединкубировались пять-семь дней, после чего в них определено базальное дыхание стандартным методом (Ананьева, 1997).

Также проведен эксперимент по изучению динамики скорости минерализации для ненарушенного образца естественной влажности олиготрофного и торфяно-эутрофного торфов (микроекосмы, объем 850 мл ($n = 16$)). Микроекосмы инкубировали при температуре 23 °С. Каждые семь дней проводили искусственное увлажнение образцов с шагом 20% ППВ.

По естественному градиенту влажности эмиссия CO_2 была различна на участках разной влажности («сухой»: 22.8 ± 7.8 , «сырой»: $38.4 \pm 2.2\%$, «мокрый»: $50.7 \pm 1.94\%$), наименьшее значение характерно для «сухого» ($112.2 \pm 45.9 \text{ мгCO}_2/\text{м}^2\text{ч}$). «Сырой» и «мокрый» друг от друга практически не отличались, и их эмиссия составила $146.9 \pm 40.1 \text{ мгCO}_2/\text{м}^2\text{ч}$. Эмиссия на «сухом» участке была меньше, чем на влажных, даже несмотря на более высокую температуру (на 1.3 °С).

Увлажнение площадок достоверно увеличило эмиссию по сравнению с контролем только на «сухом» участке торфяника с $93.3 \pm 30.6 \text{ мгCO}_2/\text{м}^2\text{ч}$ (при влажности $19.4 \pm 4.5\%$) до $122.2 \pm 42.3 \text{ мгCO}_2/\text{м}^2\text{ч}$ (при влажности $36.7 \pm 6.3\%$). Полив не вызвал достоверных изменений для «сырого» и «мокрого» участков, поэтому в дальнейшем нами был продолжен полив «сухих» участков. По мере увеличения влажности с 23.8 до 38.6% эмиссия CO_2 увеличивалась в три-пять раз (с 38.7 до $205.1 \text{ мгCO}_2/\text{м}^2\text{ч}$) и существенно превышала эмиссию на контрольных участках (без полива).

Эмиссия переувлажненного олиготрофного торфа увеличивалась при дренировании (с 55.0 ± 3.6 до $29.9 \pm 8.0\%$) в 1.5 раза в течение первых пяти дней, а эмиссия эутрофного торфа при его переувлажнении (с 23.2 ± 6.6 до $46.2 \pm 1.7\%$) снижалась в 1.5 раза.

Эксперимент с гомогенизированными образцами не выявил «классическую куполообразную» тенденцию отклика образцов на увлажнение. По мере увлажнения с 0 до 70% ППВ базальное дыхание имело линейный тренд увеличения значений с 0.13 до 5.99 $\text{мкгCO}_2/\text{г ч}$ с выходом на плато при 70–150% ППВ. При использовании нарушенного образца торфяной почвы не наблюдали негативного тренда при высоких значениях ППВ. Рост базального дыхания продолжился вплоть до максимальных значений ППВ для обоих типов торфа. Вероятно, это обусловлено невозможностью добиться анаэробных условий во флаконах в данном типе эксперимента.

Эксперимент с ненарушенными образцами выявил «классическую куполообразную» тенденцию отклика образцов на увлажнение с оптимумом 40–90% для эвтрофного (1.95 ± 0.73) и 20–50% – для олиготрофного (6.83 ± 0.69) торфа. Разные образцы по-разному реагировали на переувлажнение, при этом олиготрофный и эвтрофный не ингибировались даже при значениях влажности, близких к 90% ППВ.

Таким образом, ряд многочисленных экспериментов показал неоднозначную картину отклика торфяных почв на изменение влажности. В полевых условиях высокой чувствительностью отличались только почвы, развивающиеся в «сухих» условиях. Лабораторный эксперимент показал необходимость соблюдения четких методических подходов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-04-00952А).

ЛИТЕРАТУРА

Ананьева Н.Д. Влияние высушивания-увлажнения и замораживания-оттаивания на устойчивость микробных сообществ почвы / Н.Д. Ананьева, Е.В. Благодатская, Т.С. Демкина // Почвоведение. – 1997. – Т. 9. – С. 1132–1137.

Матьшак Г.В. Особенности развития почв гидроморфных экосистем северной тайги Западной Сибири в условиях криогенеза / Г.В. Матьшак, Л.Г. Богатырев, О.Ю. Гончарова, А.А. Бобрик // Почвоведение. – 2017. – № 10. – С. 1155–1164.

Смагин А.В. Газовая фаза почв / А.В. Смагин. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – Т. 300. – С. 266–269.

Natali S.M. Permafrost thaw and soil moisture driving CO₂ and CH₄ release from upland tundra / S.M. Natali, E.A. Schuur, M. Mauritz et al. // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. – 2015. – Т. 120. – № 3. – С. 525–537.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АВТОМОРФНЫХ ПОЧВ ЮЖНОЙ ТУНДРЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

О.В. Шахтарова, С.В. Денева, Г.В. Русанова, Е.М. Лаптева
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: olga.shakhtarova@mail.ru

Почвы южной тундры представляют особый интерес для исследователей, поскольку отражают специфику их развития в экотоне «тундра–тайга». Генезис таких почв, несмотря на долгую историю их изучения (Атлас..., 2010; Игнатенко, 1979), слабо исследован с точки зрения оценки многоуровневой структурной организа-

ции профиля. Соответственно, цель работы – выявление особенностей изменения многоуровневой структурной организации автоморфных тундровых почв под влиянием процессов педо- и криогенеза.

Работы проводили в окрестностях г. Воркута. Район исследований приурочен к подзоне южной тундры с массивно-островным распространением многолетней мерзлоты. Объектами послужили автоморфные почвы, формирующиеся под различными тундровыми ассоциациями. Ими являются глеезем криотурбированный (Гкт), глеезем криометаморфический (Гкрм) и агроглеезем криометаморфический (АГкрм). Первая почва формируется в условиях слаборасчлененного наветренного склона увала с кустарничково-моховой растительностью, граница мерзлоты на глубине 90 см. Второй и третий объекты расположены на пологом склоне моренного увала, где мерзлота залегает на глубине 1.5 м и ниже. Почва Гкрм сформирована под ерниково-кустарничковой мохово-лишайниковой растительностью, почва АГкрм находится в 130 м от Гкрм на многолетнем сеяном мятликово-лисохвостном лугу. Названия почв даны согласно (Классификация..., 2004). Структурную организацию и дифференциацию продуктов функционирования (кутанный комплекс) исследовали на основе макро-, мезо- и микроморфологического методов анализа в сочетании с изучением физико-химических показателей структурных компонентов почв: скелетан (СК), общей (ОМ) и внутрипедной (ВПМ) массы. Химический анализ выполнен общепринятыми в почвоведении методами (Теория и практика..., 2006).

Строение профиля почвы Гкт имеет следующий вид: **O-T-VH-G-Cg**. **Глеевые горизонты (G) тиксотропны, слабо агрегированы** в нижней части профиля. Единично встречаются отдельные округлые и угловатые агрегаты, скелетаны присутствуют только в порах, охристые зоны свидетельствуют о процессах окисления Fe. Для горизонта **VH, имеющего незначительную мощность, характерна агрегированность биогенного и криогенного характера, агрегаты округло-угловатые**. Слабое распределение СК и заполнение ими трубочатых пор характеризуют криогенную сортировку зерен скелета. Изогнутые темно-бурые фрагменты, обогащенные органическим веществом на глубине 40–60 см, являются следствием криотурбаций. Анализ профильного распределения соединений железа и алюминия в ВПМ и ОМ и их корреляция с распределением органического углерода в ОМ диагностирует процесс Al-Fe-гумусового иллювиования (формирование горизонта **VH**). **Дифференциация** профиля по валовому содержанию алюминия отсутствует. Для профиля почвы Гкт характерны слабая трансформация почвенной толщи под влиянием педогенных процессов, со-

хранность унаследованных признаков прошлых этапов развития (фрагменты глинистых кутан, гумусовые педореликты).

Специфической особенностью Гкрм является сочетание органо-оглеенного и криометаморфических горизонтов: O-G-CRM-C. **Анализ структурных компонентов этой почвы сделан ранее** (Слобода, 1980). Оструктуренные криометаморфические горизонты (CRM) с угловато-овальными агрегатами характеризуются обилием СК, особенно в средней части горизонта CRM. **Анализ валового состава структурных компонентов** свидетельствует о дифференциации профиля под влиянием элювиально-глеевого процесса (Слобода, 1980). Анализ структурных компонентов (СК и ВПМ) констатирует, что на фоне элювиального процесса происходит внутригоризонтное перераспределение органо-минеральных соединений. Вынос продуктов почвообразования и внутригоризонтные процессы наиболее ярко выражены в верхней полуметровой толще почвы.

Профиль АГкрм (AY-Bg-CRM-C) **схож по строению с профилем** Гкрм, однако многолетняя агрогенная трансформация обусловила формирование в верхней части профиля АГкрм слабо развитого дернового горизонта AY. **Под горизонтом AY оглеение минеральной толщи** выражено слабее по сравнению с горизонтом G целинной почвы, что обусловило формирование здесь горизонта Bg. В горизонтах CRM с угловато-крупитчатыми (38–60 см), остроугольно-округлыми (60–100 см) агрегатами выражено обилие СК в межпедных промежутках и порах. Верхняя часть почвы Гкрм до глубины 25–30 см обеднена илом, тогда как в почве АГкрм его доля выше по сравнению с целинной почвой. Очевидно, усиление контрастности окислительно-восстановительного режима при аграрной обработке почвы способствует активизации процессов физического выветривания. Результаты валового анализа ВПМ отражают элювиально-иллювиальную дифференциацию профиля. Анализ химических свойств СК, находящихся на путях миграции подвижных компонентов, отражает процесс Al-Fe-гумусового иллювиования, который наряду с оглеением может быть отнесен к тундровому этапу и является современным процессом (Русанова, Шахтарова, 2012).

Таким образом, верхняя часть Гкрм является результатом тундрового этапа почвообразования (оглеение, Al-Fe-гумусовое иллювиование, трансформация и миграция органических соединений), а АГкрм – его постагрогенной трансформации в биоклиматических условиях зоны тундры. Нижняя часть профилей обеих почв сохраняет реликтовые признаки (гумусовые педореликты, обломки глинистых кутан). Элювиально-иллювиальная дифферен-

циация профиля обеих рассмотренных почв (Гкрм, АГкрм) унаследована от таежного этапа почвообразования.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Выявление общих закономерностей формирования и функционирования торфяных почв на территории Арктического и Субарктического секторов европейского северо-востока России» (AAAA-A17-117122290011-5).

ЛИТЕРАТУРА

Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. – Сыктывкар, 2010. – 356 с.

Игнатенко И.В. Почвы восточно-европейской тундры и лесотундры / И.В. Игнатенко. – М.: Наука, 1979. – 278 с.

Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

Русанова Г.В. Структурная организация и профильная дифференциация веществ в автоморфных почвах юго-востока Большеземельской тундры / Г.В. Русанова, О.В. Шахтарова // Вестник Томского государственного университета: Биология. – 2012. – № 3 (19). – С. 18–32.

Слобода А.В. Профильная и внутригоризонтная дифференциация веществ в поверхностно-глеевой суглинистой почве кустарниковой тундры / А.В. Слобода // Почвоведение. – 1980. – № 1. – С. 33–43.

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

ОЦЕНКА ДАЛЬНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЛИАРЕНОВ В ТУНДРОВОЙ ЗОНЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЭС

Е.В. Яковлева, Д.Н. Габов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: kaleeva@ib.komisc.ru

В результате активной работы различных промышленных предприятий в тундровой зоне усиливается антропогенное воздействие на природные экосистемы. Часто в состав выбросов предприятий входят различные органические вещества-токсиканты, в том числе полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) (Демин и др., 2012). ПАУ характеризуются повышенной канцерогенной, мутагенной и токсичной активностью (Hamid et al., 2017). Наши исследования продемонстрировали, что мох *Pleurozium schreberi* Brid. может быть использован при мониторинге загрязнения тундровых экосистем ПАУ. Он широко распространен в тундровой зоне. В *P. schreberi* сосредоточена основная массовая доля ПАУ среди растений южной тундры (Яковлева и др., 2018).

Pleurozium schreberi чутко реагирует на изменения содержания ПАУ во времени и пространстве (Яковлева и др., 2017).

Цель работы – оценить дальность распространения ПАУ в условиях тундровой зоны на примере воздействия теплоэлектростанции.

Мхи отбирали на фоновом участке и в зоне действия ТЭС на удалении в 0,5, 1,0, 1,5, 3,0, 5,0 и 12,0 км в северо-восточном направлении. Образцы высушивали при комнатной температуре и анализировали на общее и поверхностное содержание ПАУ. Химико-аналитические исследования почв и растений выполняли в ЦКП «Хроматография» Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

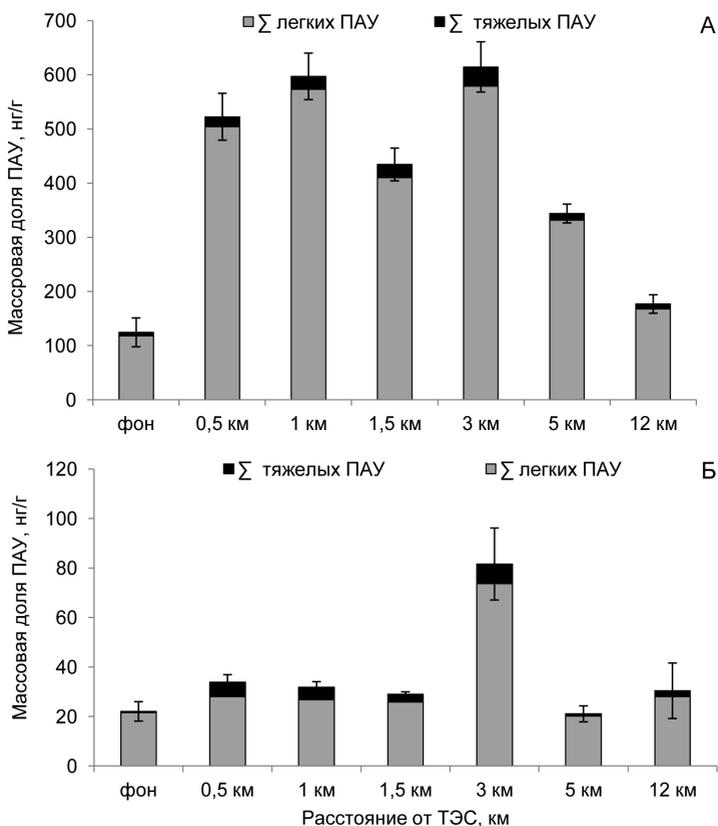
Во мхах *P. schreberi* фоновом участка нами было выявлено присутствие 12 структур ПАУ, на загрязненных участках 13 структур. Максимум содержания ПАУ в снежном покрове исследованных участков наблюдали на удалении 3 км от ТЭС (Яковлева и др., 2018). Для мхов обнаружена сходная тенденция: увеличение содержания ПАУ во мхе выявлено на расстоянии в 1 км от ТЭС, максимум накопления отмечен на расстоянии 3 км (см. рисунок). С дальнейшим удалением содержание ПАУ в *P. schreberi* снижалось и на расстоянии 12 км достигало фонового уровня. Содержание легких ПАУ изменялось более плавно в связи с их большей летучестью. Тяжелые структуры, по-видимому, перемещались с воздушными потоками от трубы ТЭС на расстояние до 3 км, где выпадали на поверхность мхов, легкие же могли перемещаться дальше. Во мхе в основном были представлены легкие ПАУ, доля тяжелых варьировала в пределах 4–6%.

Исследование содержания ПАУ на поверхности мхов позволило выявить 11 структур. На поверхности мха фонового и загрязненного участков не был обнаружен нафталин при его значительном содержании в тканях *P. schreberi*. Нафталин в растениях фонового участка мог формироваться в процессе внутриклеточного синтеза, так как он имеет сходную структуру с витаминами и гормонами. В условиях загрязнения в мох поступало дополнительное количество нафталина и он благодаря своей высокой растворимости и небольшому молекулярному весу проникал в ткани, не концентрируясь на поверхности. ПАУ на поверхности мха были представлены в основном легкими ПАУ на 83–96% на загрязненных участках и на 98% – на фоновом.

Суммарное содержание ПАУ на поверхности мхов близко на фоновом и загрязненных участках, что свидетельствует о поддержании мхом определенных концентраций ПАУ на поверхности. Исключением является участок на расстоянии 3 км, где отмечено резкое повышение массовой доли поверхностных ПАУ в три раза

относительно других участков. Такое повышение обусловлено резким возрастанием массовой доли 4–5-ядерных ПАУ: флуорантена, пирена, бенз[а]антрацена, хризена, бензо[б]флуорантена, бензо[к]флуорантена, бенз[а]пирена, которые перемещаются на пылевых частицах и выпадают на расстояние в 3 км.

Сравнение уровня накопления ПАУ на поверхности и в тканях *P. schreberi* позволило выявить, что на фоновом участке и на расстоянии 12 км от ТЭС доля поверхностного накопления составила 17–18%. На участках, подверженных загрязнению от ТЭС (0.5, 1.0, 1.5, 5.0 км), она составила 5–6%, т.е. в условиях загрязнения активизировались процессы биоаккумуляции ПАУ и они с поверхности мха активно транспортировались внутрь растения.



Содержание ПАУ в *Pleurozium schreberi*, нг/г. А – общее, Б – на поверхности мха.

Исключением являлся участок в 3 км от ТЭС, где доля поверхностного накопления достигала 13% при максимальном загрязнении. Возможно, в данном случае у *P. schreberi* включались защитные механизмы, связанные с резким увеличением поступления в фитоценоз 4–5-ядерных структур, главным образом флуорантена, хризена, бензо[**b**]флуорантена и бензо[**k**]флуорантена, для которых было отмечено повышение не только поверхностного, но и общего содержания в растениях. Как результат, поступление ПАУ внутрь мха снижалось и они в значительной степени концентрировались на поверхности.

На основании полученных данных можно констатировать, что ПАУ в условиях тундры способны перемещаться на значительные расстояния. Приближенные к фоновым значения содержания ПАУ в *P. schreberi* были выявлены лишь на расстоянии 12 км от ТЭС. Отмечено снижение доли накопления ПАУ на поверхности мха с ростом уровня загрязнения по сравнению с фоновым участком. При максимальном загрязнении доля поверхностного накопления несколько возрастала, не достигая фоновых значений, что может быть объяснено включением защитных механизмов растения. На поверхности мха не было выявлено присутствие нафталина, что, возможно, связано с его активным поглощением с поверхности из-за средства с природными компонентами растений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке госбюджетной темы № АААА–А17–117122290011–5.

ЛИТЕРАТУРА

Демин Б.Н. Загрязнение почвенно-растительного комплекса в окрестностях рудника «Баренцбург» полициклическими ароматическими углеводородами / Б.Н. Демин, А.П. Граевский, А.С. Демешкин, С.В. Власов // Арктика: экология и экономика. – 2012. – № 3(7). – С. 62–73.

Яковлева Е.В. Временные изменения содержания полиаренов в почвах и растениях нижнего яруса южной тундры под воздействием угледобывающей промышленности / Е.В. Яковлева, Д.Н. Габов, В.А. Безносиков // Вестник РУДН: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2017. – Т. 25. – № 2. – С. 271–293.

Яковлева Е.В. Накопление полициклических ароматических углеводородов в почвах и мхах южной тундры на разных расстояниях от теплоэлектростанции / Е.В. Яковлева, Д.Н. Габов, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенко // Почвоведение. – 2018. – № 5. – С. 563–572.

Namid N. Elucidating the urban levels, sources and health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Pakistan: Implications for changing energy demand / N. Namid, J.H. Syed, M. Junaid et al. // Science of the Total Environment. – 2017. – V. 619–620. – P. 165–175.

Секция 4
РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ, ГЕНЕТИКА.
ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ НА ОРГАНИЗМ

РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ
НА РАДИОАКТИВНОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДОЕМОВ

И.С. Боднар, Е.В. Чебан
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: bodnar-irina@mail.ru

В Российской Федерации на сегодняшний день одной из актуальных экологических проблем является утилизация «ядерного наследия» Советского Союза. На территории Республики Коми (пос. Водный) в первой половине XX в. располагался завод по добыче радия из пластовых вод и отходов урановой промышленности. Производство закрыли в связи с нецелесообразностью, но территории бывших заводов опасны из-за комплексного радиационного и химического загрязнения. В 2015 г. бывшее хранилище радиоактивных отходов, расположенное на берегу р. Ухта, было законсервировано.

Цель работы – экотоксикологическая оценка природных вод с территории законсервированного хранилища радиоактивных отходов, а также бывшего радиевого завода.

Для анализа воды использовали лабораторную культуру ряски малой (*Lemna minor* L.). Растения содержали в климатической камере при 70%-ной влажности и температуре 24 ± 0.1 °C. Контрольные растения культивировали на среде Штейнберга, опытные – на природной воде. Отбор проб воды проводили по сезонам в 2016–2018 гг. вблизи хранилища РАО и нерекультивированного участка радиохимического завода № 3. Точки отбора проб соответствовали фоновой, буферной и импактной зонам. Фоновый участок для речной воды расположен в 20 км от бывшей свалки выше по течению р. Ухта; фон для грунтовых вод – скважина без загряз-

нения. Импактная зона: вода с колодца лучевого дренажа хранилища, речная вода с участка реки ниже и в непосредственной близости от законсервированного объекта. Помимо этого проанализированы образцы воды с реки вблизи нерекультивированного участка бывшего завода № 3, где мощность экспозиционной дозы составляла до 1000 мкРн/ч и скважины, загрязненной радионуклидами, рядом с территорией хранилища РАО. Буферная зона – 100 м выше по течению р. Ухта от объекта консервации. В качестве тест-системы использовали лабораторную культуру ряски малой. Определяли морфометрические показатели, уровень окислительного стресса (по концентрации малонового диальдегида), содержание хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов.

Мощность экспозиционной дозы на территории хранилища РАО до начала работ по консервации варьировала от 40 до 3500 мкР/ч, после реабилитации в 2016 г. снизилась до 60 мкР/ч. В 2016 г. удельная активность ^{226}Ra в воде р. Ухта около хранилища РАО составляла 0.01–0.04 Бк/л, его содержание могло повышаться до 0.12 Бк/л (Шапошникова, Рачкова, 2018). Удельная активность радия в стоке из колодца лучевого дренажа объекта консервации в сентябре 2016 г. составила 0.086 Бк/л, удельная активность урана варьировала от 0.25 до 2.5 Бк/л (Рачкова и др., 2017). Речная вода на изучаемой таежной территории слабо минерализована, для нее характерен недостаток калия, магния, нитратов. Вода из дренажных колодцев – сильно минерализованная, с повышенным содержанием кальция, натрия, в ней в избытке содержался барий, использовавшийся в технологическом процессе при добыче радия.

Удельная скорость роста является интегральной характеристикой жизнедеятельности лабораторной культуры ряски при тестировании воды на токсичность. В 2016 г. на речных водах, отобранных вблизи хранилища, темпы роста ряски выше, чем на буферном и фоновом участках ($p \leq 0.05$). Летом и осенью 2017–2018 гг. скорость роста ряски на импактных водах снизилась до уровня фоновых значений, а на некоторых участках стала ниже фоновой ($p \leq 0.05$). Воды системы лучевого дренажа законсервированного хранилища контактируют с захороненными радиоактивными отходами. Темпы роста ряски, культивируемой на воде с дренажных колодцев отборов, с 2016 по 2018 г. постепенно снижались. В сентябре 2017 г. скорость роста растений на этой воде выше, чем из фоновой скважины за пределами хранилища РАО, а в июне 2018 г. отличий нет.

Удельная скорость роста ряски в 2016 г. зависела от концентрации ионов кальция ($F=43$, $p \leq 0.05$) и бария ($F=5.58$, $p \leq 0.05$), а

в июле 2018 г. связана с концентрацией ионов кальция ($F=2.73$, $p \leq 0.05$), магния ($F=3.5$, $p \leq 0.05$), бария ($F=4.3$, $p \leq 0.05$) и стронция ($F=4.5$, $p \leq 0.05$).

Об отрицательной динамике качества импактных вод свидетельствует рост доли поврежденных растений в колонии. После консервации объекта уровень повреждений фрондов был низким, в 2017 г. сравнялся с фоновым, а в июле 2018 г. в случае импактных вод превысил его ($p \leq 0.05$). Ухудшение качества воды из дренажных колодцев летом 2018 г. подтверждается снижением до уровня ниже фонового содержания хлорофилла *a* и каротиноидов у ряски, культивированной на этой воде. Помимо этого, в июне 2018 г. у ряски, выращенной на воде с импактных участков речного русла (ниже законсервированного объекта по течению реки, вблизи радиохимического завода № 3), стала ниже фоновой площадь листовидной поверхности ($p \leq 0.05$).

Уровень окислительного стресса оценивали по концентрации малонового диальдегида (МДА). Как показал анализ данных за 2017–2018 гг., содержание МДА выше у растений, культивированных на речной воде с импактных участков ($p \leq 0.05$).

Таким образом, морфометрические и биохимические реакции лабораторной культуры ряски малой позволили оценить качество воды с территории законсервированного хранилища радиоактивных отходов. В динамике происходит ухудшение рассматриваемых параметров: снижается удельная скорость роста ряски, увеличивается доля растений с хлорозами и некрозами, сокращается площадь листовидной поверхности, содержание хлорофилла, повышается концентрация МДА.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИБ Коми НЦ УрО РАН № ГР АААА-А18-118011190102-7 «Механизмы биогенной миграции радионуклидов и закономерности возникновения отдаленных последствий, индуцированных у растений и животных в условиях хронического радиационного и химического воздействия».

ЛИТЕРАТУРА

Шапошникова Л.М. Анализ эффективности реабилитации территории хранилища отходов радиоактивного производства в Республике Коми / Л.М. Шапошникова, Н.Г. Рачкова // Геоэкология. Инженерная экология. Гидрогеология. Геокриология. – 2018. – № 2. – С. 75–84.

Рачкова Н.Г. Экологические аспекты фитопоглощения поллютантов в водных и наземных экосистемах территорий техногенного радиоактивного загрязнения / Н.Г. Рачкова, Л.М. Шапошникова, И.И. Шуктомова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (4–6 декабря 2017 г., г. Киров). – Киров: ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», 2017. – С. 75–79.

АНТОЦИАНЫ ИЗ ПЛОДОВ РАЗЛИЧНЫХ ЯГОД И ИХ ГЕРОПРОТЕКТОРНАЯ ОЦЕНКА

Д.А. Голубев

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: denismeatboy@icloud.com

Антоцианы – природные красящие вещества растений из группы флавоноидов, которые относятся к гликозидам, они по своей химической природе являются гликозидами гетероциклических соединений агликонов. Известно более 700 антоцианов, выделенные из различных растений, их разнообразие определяется разными боковыми радикалами.

Антоцианы находят широкий спектр применения в биологически активных добавках, фармацевтических препаратах для профилактики и лечения разных заболеваний, обладают рядом полезных свойств: антидиабетическими (Jankowski et al., 2000), противоопухолевыми (Hou, 2003), противовоспалительными, антиоксидантными (Wang et al., 2015), а также являются потенциальными геропротекторами.

Антиоксидантные свойства антоцианов и их способность поглощать свободные радикалы широко используются в исследованиях увеличения продолжительности жизни (Miguel, 2011).

Ягоды черники (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), клюквы (*Oxycoccus*), жимолости голубой (*Lonicera pallasi*) широко распространены по всей территории Земного шара, в том числе и в России. Плоды этих растений содержат различные антоцианы: цианидин, пеонидин, пеларгондин, мальвидин, дельфинидин, петунидин.

Для хроматографии были выбраны ягоды жимолости и черники, так как они содержат много полярных гидроксильных групп и это обуславливает малую хроматографическую подвижность, если состав элюента – хлороформ и этиловый спирт.

Плоды черники, брусники и клюквы были собраны в Сыктывдинском районе около р. Малая Човью в августе 2017 г., плоды жимолости были собраны сотрудником Ботанического сада в июле 2012 г.

Для экстракции антоцианов плоды измельчали блендером до однородной смеси. Полученный материал смешивали с обработанной глиной в 0.1M растворе HCl и перемешивали на центрифуге. Для десорбции насадочную жидкость сливали и сорбент смешивали с экстрагентом: 1%-ный раствор концентрированной соляной кислоты в этаноле. Этанол отгоняли на вакуумном ротационном испарителе при температуре бани 39 °C.

Количественный состав антоцианов при длинах волн 284 и 543 нм

Вещество	284 нм			543 нм		
	С	WL	мг/100 г ягод	С	WL	мг/100 г ягод
Клюква	14.452	0.132	808	35.719	0.022	795
Жимолость	8.618	0.79	1377	46.956	0.028	1232
Брусника	14.149	0.129	379	63.01	0.038	366
Черника	12.201	0.14	1562	67.023	0.041	1215

Оптическую плотность приготовленных растворов измеряли с использованием спектрофотометра Shimadzu uv-1700. Спектры записывали в кюветы с длиной оптической волны 10 мм относительно Цианидин-3-глюкозид. На основе спектров антоциановых пигментов в УФ и видимой области в качестве аналитических длин волн были выбраны две длины волны: 543 и 284 нм.

Концентрацию антоцианов (моль/л) рассчитывали по формуле $X = (D \cdot 50) / (m \cdot 626)$, где D – оптическая плотность испытуемого раствора, m – масса антоцианов в веществе.

Результат количественного анализа состава антоцианов в плодах разных ягод, полученный при помощи спектрофотометрического метода в длинах волн 543 и 284 нм, показал, что наибольшее количество антоцианов содержится в жимолости и чернике (см. таблицу).

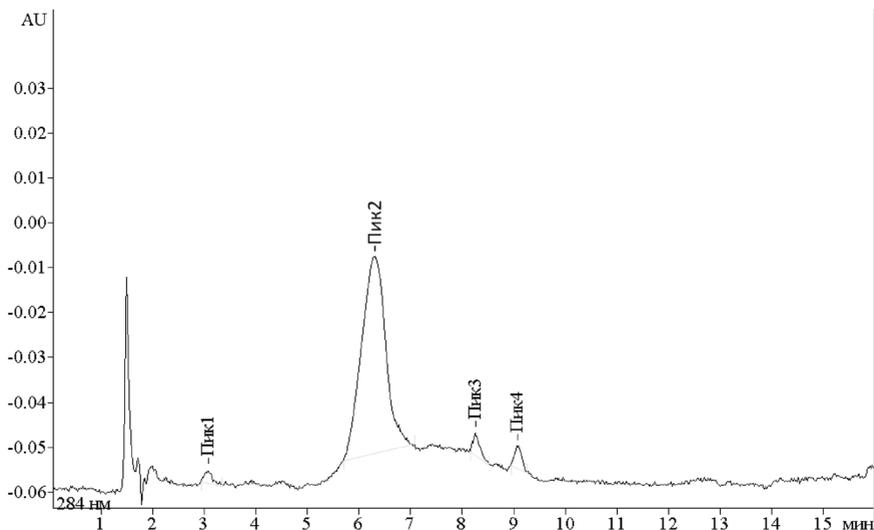


Рис. 1. Хроматограмма экстракта жимолости палласа (*Lonicera pallasii*).

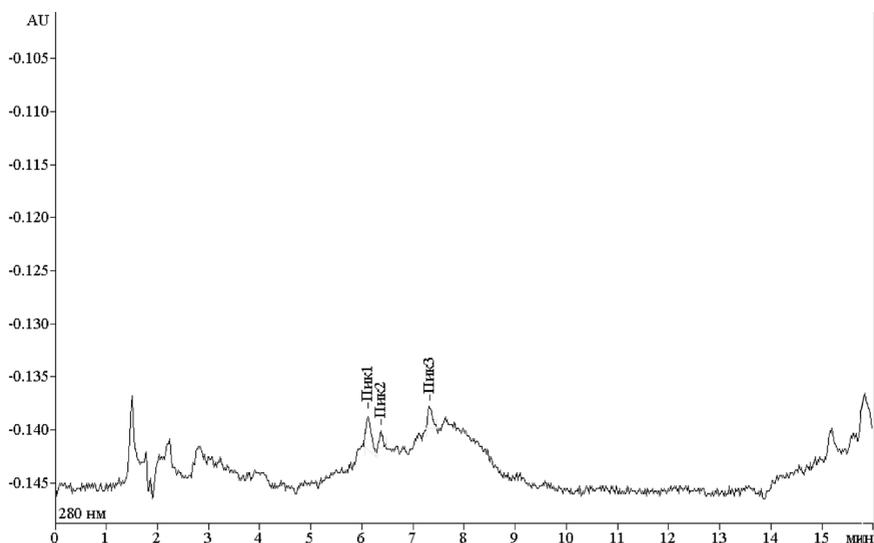


Рис. 2. Хроматограмма экстракта черники (*Vaccinium myrtillus*).

С помощью хроматографа Милихром-5 были сняты спектры поглощения экстракта жимолости (рис. 1) и черники (рис. 2) при длине волны 284 нм. В экстракте черники обнаружено три компонента, в экстракте жимолости – четыре. Таким образом, данные свидетельствуют о том, что состав антоцианов зависит от видов растений.

Полученные данные показали, что из плодов различных ягод могут быть выделены экстракты, в которых присутствуют разнообразные антоцианы. Наиболее обогащенные антоцианами ягоды (*Vaccinium myrtillus*, *Lonicera pallasii*) являются потенциальными геропротекторами и их практическая значимость заключается в возможности применения данных препаратов для увеличения продолжительности жизни и в защите от различных окислительных повреждений.

ЛИТЕРАТУРА

Hou D.X. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins / D.X. Hou // Current molecular medicine. – 2003. – V. 3. – N 2. – P. 149–159.

Jankowski A. The effect of anthocyanin dye from grapes on experimental diabetes / A. Jankowski, B. Jankowska, J. Niedworok // Folia Medica Cracoviensia. – 2000. – V. 41. – N 3–4. – P. 5–15.

Wang L. Cranberry anthocyanin extract prolongs lifespan of fruit flies / L. Wang, Y.M. Li, L. Lei et al. // Experimental Gerontology. – 2015. – V. 69. – P. 189–195.

Miguel M.G. Anthocyanins: Antioxidant and/or anti-inflammatory activities / M.G. Miguel // Journal of Applied Pharmaceutical Science. – 2011. – V. 1. – N 6. – P. 7–15.

ПРИРОДНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ВИТАФЕРИН-А УЛУЧШАЕТ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Н.В. Земская, Л.А. Коваль, Е.В. Щеголева, И.А. Соловьев, А.А. Москалев
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: zemnadezhd@gmail.com

Одной из актуальных проблем современной биологии является поиск веществ, эффективно увеличивающих устойчивость организма к различным стрессовым факторам, а также способствующих активному долголетию. Наиболее перспективным представляется поиск геропротекторов среди лекарственных препаратов и веществ растительного происхождения. Поэтому в настоящее время в лабораториях по всему миру активно изучаются эффекты действия растительных экстрактов с целью изготовления на их основе фармакологических препаратов. Одними из таких соединений являются витанолиды – группа фитостероидов, получаемых из растения витания снотворная (*Withania somnifera*), которое известно под названием Ашвагандха.

Один из представителей витанолидов – витаферин-А – обладает широким спектром биологических свойств: противовоспалительное, иммуномодулирующее, антидепрессантное, адаптогенное, кардиопротекторное, антиоксидантное, обезболивающее, жаропонижающее, противоопухолевое, регенерирующее и др. (Kumar et al., 2015), которые указывают на его большой потенциал в качестве геропротектора.

Цель работы – изучить влияние витаферина-А на продолжительность жизни (ПЖ) особей *Drosophila melanogaster*. Для этого были поставлены следующие задачи:

- изучить влияние витаферина-А в концентрациях 1, 10, 100 μM на ПЖ дрозофил;
- проанализировать влияние витаферина-А на возрастные изменения проницаемости кишечной стенки дрозофил.

Исследовали влияние витаферина-А на ПЖ самцов и самок дрозофил. Для этого на поверхность питательной среды наносили витаферин-А, растворенный в этаноле в трех исследуемых концентрациях (1, 10, 100 μM). Мух содержали в стандартных условиях при температуре 25 °С, 12-часовом режиме освещения и 60%-ной влажности. Самцы и самки жили отдельно. По полученным дан-

ным анализировали параметры ПЖ. Эксперимент был проведен в двух независимых биологических повторностях.

Витаферин-А в концентрациях 10, 100 μM увеличил медианную ПЖ самцов дрозофил на 7.7–15 и 7.7–21% соответственно ($p < 0.05$ по критерию Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) и максимальную ПЖ – на 1.6–10.8 и 4.8–18.5% соответственно ($p < 0.05$ по критерию Ванг-Аллисона). У самок наблюдали увеличение ПЖ только в одной повторности эксперимента при концентрации витаферина 100 μM : увеличение медианной ПЖ на 3% ($p < 0.05$ по критерию Гехана-Бреслоу-Вилкоксона) и максимальной ПЖ на 10% ($p < 0.05$ по критерию Ванг-Аллисона) (см. таблицу).

Желудочно-кишечный тракт обладает функцией барьера, препятствующего проникновению во внутреннюю среду организма пищевых антигенов, бактериальных токсинов, вирусов и микроорганизмов. Нарушение барьерной функции кишечника может стать причиной развития различных патологических состояний. Такое же нарушение барьерной функции происходит и с возрастом. В целях профилактики развития подобных состояний интенсивно разрабатываются методы диагностики нарушения проницаемости кишечного барьера. В работе Rera et al. (2012) проницаемость кишечного барьера (оценена в Smurf-тесте) была показана

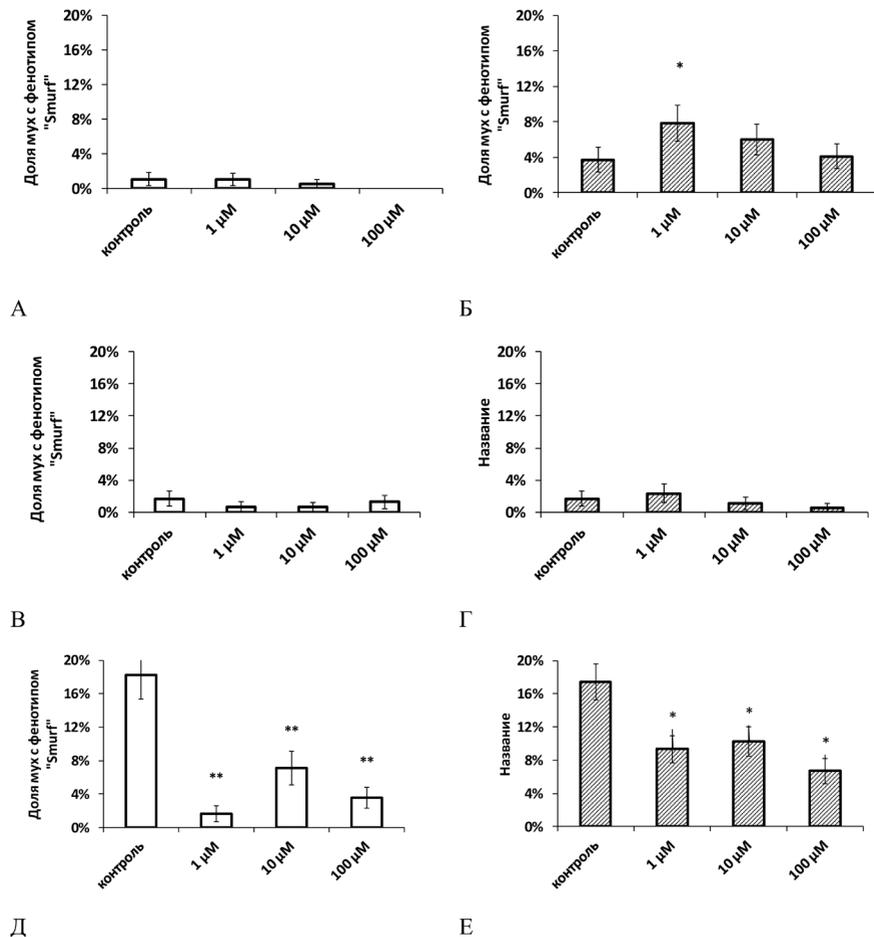
**Влияние витаферина-А на продолжительность жизни особей
*Drosophila melanogaster***

Вариант	Пол, повторность (1, 2)	М, сут.	dM, %	Тест Мантеля-Кокса (p)	90%	d90%	Тест Ванг-Аллисона (p)	N
Контроль	Самцы 1	52			62			156
1 μM	Самцы 1	57	9.6	$p < 0.0001$	63	1.6	$p < 0.01$	150
10 μM	Самцы 1	56	7.7	$p < 0.0001$	63	1.6	$p < 0.001$	153
100 μM	Самцы 1	56	7.7	$p < 0.001$	65	4.8	$p < 0.001$	154
Контроль	Самцы 2	52			65			139
1 μM	Самцы 2	52	0		70	7.7	$p > 0.05$	143
10 μM	Самцы 2	60	15.4	$p < 0.01$	72	10.8	$p < 0.01$	147
100 μM	Самцы 2	63	21.2	$p < 0.001$	77	18.5	$p < 0.001$	140
Контроль	Самки 1	65			70			143
1 μM	Самки 1	65	0	$p > 0.05$	72	2.9	$p > 0.05$	156
10 μM	Самки 1	62	-4.6	$p < 0.05$	69	-1.4	$p > 0.05$	148
100 μM	Самки 1	65	0	$p > 0.05$	73	4.3	$p > 0.05$	160
Контроль	Самки 2	70			79			148
1 μM	Самки 2	70	0	$p > 0.05$	81	2.5	$p > 0.05$	152
10 μM	Самки 2	70	0	$p > 0.05$	79	0	$p > 0.05$	147
100 μM	Самки 2	72	2.9	$p < 0.0001$	87	10.1	$p < 0.0001$	140

Примечание. М – медианная ПЖ (сут.); 90% – максимальная ПЖ (возраст смертности 90% выборки, сут.); N – количество мух в выборке.

как новый биомаркер физиологического старения *Drosophila*. Нами было показано, что витаферин-А повышает прочность кишечного барьера у старых (8 недель) дрозофил ($p < 0.05$ – по критерию Фишера) (см. рисунок).

Показано, что витаферин-А увеличивает продолжительность жизни самцов особей *Drosophila melanogaster*, но не оказывает статистически значимых эффектов на самок.



Влияние витаферина-А на проницаемость кишечника самцов (А, В, Д) и самок (Б, Г, Е) в возрасте четырех (А, Б), шести (В, Г), восьми недель (Д, Е). * $p < 0.05$, ** $p < 0.001$, точный критерий Фишера.

ЛИТЕРАТУРА

Kumar V. Chemistry and pharmacology of *Withania somnifera*: An update / V. Kumar, A. Dey, M. B. Hadimani et al. // Tang. – 2015. – V. 5. – P. 1–13.

Rera M. Intestinal barrier dysfunction links metabolic and inflammatory markers of aging to death in *Drosophila* / M. Rera, R.I. Clark, D.W. Walker // Proc Natl Acad Sci USA. – 2012. – V. 109. – P. 21528–21533.

ВЛИЯНИЕ ВИТАФЕРИНА-А НА СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Л.А. Коваль¹, Н.В. Земская², А.А. Москалев²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: lyubov.schilova@yandex.ru

Все живые организмы подвергаются влиянию абиотических и антропогенных стрессоров, и их жизнеспособность зависит от эффективности механизмов ответа на эти воздействия. В связи с этим возникает интерес к поиску новых лекарственных средств для фармакологической коррекции стрессоустойчивости. Низкая токсичность и общедоступность растительного сырья позволяет рассматривать их в качестве мишеней для разработки таких препаратов.

Витаферин-А, витанолид, получаемый из растения *Withania somnifera*, оказывает антиоксидантное, противовоспалительное, иммуномодулирующее, адаптогенное, противоопухолевое и другие действия (Kumar et al., 2015), поэтому предположили, что добавление в корм витаферина-А приведет к повышению устойчивости дрозophil к различным видам стресса. Для этого исследовали влияние витаферина-А в концентрациях 1, 10, 100 μM на устойчивость дрозophil к действию прооксиданта (20 μM раствор параквата в 5%-ной сахарозе) и гипертермии (33 °C).

Для проведения исследований использовали линию дикого типа *Canton-S* (#1, Bloomington, USA), которая содержалась в климатических камерах Binder, KBF720-ICH, 720 l (Binder, Germany). Дрозophilы получали витаферин-А в растворенном виде поверх контрольной питательной среды (Xia, de Belle, 2016) в концентрации 1, 10, 100 μM . Для получения экспериментальной выборки дрозophil родительских особей рассаживали в пробирки («*Drosophila vial*», Genesee Scientific, USA) с питательной разгонной средой (Xia, de Belle, 2016) в количестве по пять пар самцов и самок на пробирку и оставляли на 24 ч для откладки яиц. После

появления имаго мух наркотизировали парами диоксида углерода и разделяли по полу, далее рассаживали в пробирки («Drosophila vial», Genesee Scientific, USA) с питательной средой по 30 особей.

Анализ стрессоустойчивости дрозофил проводили каждую неделю в возрасте до восьми недель с использованием аппаратно-программного комплекса DAM Drosophila Locomotor Activity Monitor (TriKinetics, USA). Для анализа устойчивости к действию окислительного стресса дрозофил рассаживали в стеклянные пробирки диаметром 5 мм с 20 мМ паракавата (Methyl Viologen, Sigma)

Влияние витаферина-А в концентрации 1, 10, 100 мкМ на устойчивость самцов и самок *Drosophila melanogaster* линии Canton-S к прооксиданту паракавату (окислительный стресс) и гипертермии (33 °C)

Возраст, неделя	Вариант	Самцы								Самки							
		Окислительный стресс				Гипертермия				Окислительный стресс				Гипертермия			
		25%	50%	75%	90%	25%	50%	75%	90%	25%	50%	75%	90%	25%	50%	75%	90%
1	Контроль	64	69	86	92	66	71	81	89	64	69	86	92	64	73	77	81
	1μM	52	67	82	86	63	73	79	83	52	67	82	86	60	73	81	88
	10μM	61	69	79	91	70	81	85	90	61	69	79	91	52*	61*	71*	76
	100μM	48	56	74	86*	63	72	81	90	48	56	74	86*	63	72	88	89
2	Контроль	41	51	60	73	26	31	33	36	48	72	103	116	28	38	42	47
	1μM	39	52	59	71	28*	33	35	41	47	70	95	111	25	34	42	51
	10μM	42	52	62	75	28	32	36	37	55	77	95	111	22	34	37	42*
	100μM	42	47	54	71	30*	34	37	40	48	78	97	108	19	28*	34	42*
3	Контроль	35	40	46	54	18	25	26	27	42	64	79	99	25	30	35	38
	1μM	33	40	47	57	10	12*	14*	15	32	50	75	93	15*	17*	20*	23*
	10μM	32	40	48	56	6	7*	10*	13	48	66	82	104	11*	13*	16*	18*
	100μM	36	42	48	56	21	24	25	27	40	62	76	95	24	29	33	38
4	Контроль	24	30	38	45	20	28	41	45	28	49	60	78	24	31	36	41
	1μM	28*	34*	39	46	29	36	45	50*	30	48	58	82	26	33	37	43
	10μM	27*	32	37	42	27	33	42	47	31	45	67	85	26	31	38	40
	100μM	24	30	37	44	28	33	38	42*	30	47	68	82	28	34*	41	44
5	Контроль	21	25	31	34	14	18	25	29	28	31	43	50	15	21	24	29
	1μM	19	24	28	35	8*	11*	22	29	27	42	48	61	15	19	23	26
	10μM	21	25	27	31	7*	14*	20	27*	29	36	45	63	18*	22	25	28
	100μM	23	28	33	37	8*	12	22	27	27	31	41	48	14	18*	22*	24
6	Контроль	21	25	30	34	27	32	35	38	21	27	34	57	20	25	31	35
	1μM	19	24	29	33	23	31	39	41	20	26	39	55	22	26	30	33
	10μM	19	23	27*	29*	24	31	40*	44*	19	26	36	61	21	23	27*	31
	100μM	19	25	29	31*	27	31	35	38	21	26	37	51	22	27	30	36
7	Контроль	14	20	26	31	10	16	22	26	19	25	34	44	15	21	26	29
	1μM	20*	23*	29*	32	10	14	22	29*	22	25	36	48	13	18	24*	27
	10μM	16	21	26	30	12	15	23	27	17	23	30	45	15	19	24	29
	100μM	17*	20	25	31	9	19	25*	33*	19	23	33	42	14	18	23	29
8	Контроль	13	18	23	27	11	15	20	23	17	23	28	37	8	14	19	26
	1μM	15	20	26*	31*	10	13*	17	18*	14	22	30	48	9	14	21	25
	10μM	14	18	23	28	10	14	17	21*	17	22	30	41	9	14	20	24*
	100μM	13	17	23	26	9	13*	17	20*	18	23	31	40	10	15	20	24

Примечание. $p < 0.05$ по точному критерию Фишера. 25%, 50%, 75%, 90% – соответствующий перцентиль.

в 5% -ной сахарозе и содержали при 25 °С до полной гибели выборки. Для оценки устойчивости к гипертермии мух рассаживали в стеклянные пробирки диаметром 5 мм со стандартной средой и содержали при 33 °С до полной гибели выборки. Для создания кривых дожития использовали Microsoft Excel (Microsoft, США). Статистический анализ данных проводили с использованием OASIS 2: онлайн-приложение для анализа смертности. Для оценки статистической значимости различий по стрессоустойчивости использовали точный критерий Фишера.

Активные формы кислорода приводят к повреждению липидов в клеточных мембранах, окислению белков и повреждению ДНК. В большинстве вариантов эксперимента витаферин-А не приводил к достоверным изменениям либо снижал выживаемость самцов и самок в условиях действия индуктора свободных радикалов параквата. Стоит отметить, что у самцов наблюдали повышение устойчивости в возрасте двух, трех, восьми недель при концентрации витаферина-А 1 и 10 мкМ. У самок в возрасте старше четырех недель наблюдали положительную тенденцию изменения устойчивости к действию прооксиданта параквата (см. таблицу).

Основным типом повреждений при тепловом шоке является повреждение белков, однако под его влиянием в результате увеличения темпов метаболизма и выработки свободных радикалов также происходит повреждение ДНК. В нашем эксперименте витаферин-А снизил устойчивость дрозофил к гипертермии. Так, у самцов и самок наблюдали снижение всех исследуемых параметров выживаемости с возрастом. Однако стоит отметить, что в возрасте четырех недель у самок наблюдали значительное увеличение параметров стрессоустойчивости к гипертермии (см. таблицу).

Таким образом, витаферин-А обладает разнонаправленным эффектом на устойчивость *Drosophila melanogaster* линии *Canton-S* к исследуемым стресс-факторам.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-315-00086.

ЛИТЕРАТУРА

Kumar V. Chemistry and pharmacology of *Withania somnifera*: An update / V. Kumar, A. Dey, M.B. Nadimani et al. // Tang. – 2015. – V. 5. – P. 1–13.

Xia B. Transgenerational programming of longevity and reproduction by post-eclosion dietary manipulation in *Drosophila* / B. Xia, J.S. de Belle // Aging (Albany NY). – 2016. – V. 8(5). – P. 1115–1134.

**ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ ОСОБЕЙ
DROSOPHILA MELANOGASTER,
ЭКТОПИЧЕСКИ ЭКСПРЕССИРУЮЩИХ ГЕНЫ ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ**

И.А. Соловьев^{1,2}, Е.В. Щеголева¹, М.В. Шапошников¹, А.А. Москалев^{1,3}

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

² Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

³ Московский физико-технический институт (государственный университет)

E-mail: ilyasolovev-ksc@yandex.ru

Экспрессия генов циркадных ритмов значительно изменяется в процессе старения животных. Мы проанализировали динамику возрастных изменений транскрипционной активности генов *cry*, *clk*, *per*, *cyc*, *tim* дрозофилы линии *w¹¹¹⁸* на 5-е, 35-е и 50-е сут., доступные данные по линии *w¹¹¹⁸* и сравнили их с профилями экспрессии гомологичных и ортологичных последовательностей, характерных для других животных, в результате было выявлено угнетение экспрессии генов центрального осциллятора с возрастом (Соловьев и др., 2018; Solovev et al., 2019).

Цель работы – попытка повлиять на процесс старения и формирования ответа организма на непрерывное освещение *D. melanogaster* посредством компенсации зависимой от возраста недостаточности экспрессии генов циркадных ритмов в нервной системе.

При постановке эксперимента использовались линии *w; UAS-cry12/TM2*; *w; UAS-HA-Clk #sit*; *y, w; UAS-cry24/CyO*; *w; UAS-per10*; *w; UAS-per2.4*; *w; P{UAS-CYC.HA}*; *y, w; tim*; *P{tim+HA}-2*, драйверная линия с мифепристон-индуцибельным, экспрессирующимся в нейронах транскрипционным фактором, – *y; P{ELAV-GeneSwitch-GAL4}*. Для оценки статистической значимости различий по распределению смертности в выборках применяли критерий Колмогорова-Смирнова, для сравнения различий по медианной продолжительности жизни – критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона. Достоверность различий по максимальной продолжительности жизни (возрасту 90%-ной смертности) оценивали с помощью метода Ванг-Аллисона. Для сверхактивации генов использовали UAS-GAL4 RU486-индуцибельную систему. В ходе исследования были изучены параметры продолжительности жизни (ПЖ) дрозофил, содержащихся в режиме 12 ч свет/12 ч темнота, а также при непрерывном освещении (на фоне индукции экспрессии в нервной системе). Для оценки периода колебаний показателей локомоторной активности дрозофилы в течение всей жизни использовали установку DAM-system (TriKinetics Inc., USA), в которой мухи содержались на питательной среде в условиях по-

стоянной темноты. При построении периодограмм использовали спектральный метод (преобразования Фурье).

Результаты показали, что прирост медианной ПЖ составил 11.2% у самцов линии со сверхэкспрессией гена *cyc* ($p < 0.001$). Увеличение времени 90%-ной смертности отмечалось у самцов, сверхэкспрессирующих *per2.4*, и составило 24% ($p < 0.0001$). У самок со сверхактивированным *cry12* обнаружен 11.8%-ный прирост времени 90%-ной смертности ($p < 0.0001$). Самки линии со сверхэкспрессией гена *cry24* показали медианную продолжительность жизни на 33.3% больше контрольной группы ($p < 0.0001$), прирост времени 90%-ной смертности составил у них 11% ($p < 0.0001$). Увеличение медианной ПЖ на 25% было обнаружено и в случае со сверхактивацией у самок *per2.4* ($p < 0.05$), а также у линии, сверхэкспрессирующей *per10*, на 6.4% соответственно ($p < 0.05$). Отмечен эффект 16.4%-ного увеличения возраста 90%-ной смертности у самок линии, сверхэкспрессирующей при индукции мифепристоном *tim* ($p < 0.0001$) наряду с приростом медианной ПЖ у них же, составляющим 6.25% ($p < 0.001$). Таким образом, получены доказательства способности генов циркадных ритмов снижать негативные эффекты непрерывного освещения. При сверхэкспрессии *cry24* в головах самок период и ритм локомоторной активности на 40–46-е сут. удалось сохранить, в то время как контрольная группа в том же возрасте характеризовалась аритмичностью. У самок линии *w; UAS-per10/ELAV* на 5–10-е сут. в контрольной группе к 40-м суткам наблюдали увеличение периода до 30 ч, у опытной группы этот период оставался равным 24 ч. Это позволяет заключить, что компенсация возраст-зависимой недостаточности *per* у дрозофилы нивелирует эндогенный возраст-зависимый десинхроноз.

Увеличение медианной продолжительности жизни при сверхэкспрессии *cry12* может быть объяснено с позиций биологии окислительно-восстановительных процессов. Так, высокая концентрация криптохромов у *D. melanogaster* приводит к генерации активных форм кислорода их функциональными единицами, ранее эти флавопротеины считались антиоксидантами, отсюда природа герпротекторного эффекта, наблюдаемого при сверхэкспрессии криптохрома, сходна с гормезисом, регистрируемым при индукции у экспериментальных животных оксидативного стресса прооксидантами (Arthaut et al., 2017). Следует отметить, что данный тезис находит подтверждение при анализе полученных в ходе изучения стрессоустойчивости данных. Сверхэкспрессируя криптохром на третьей (*cry12*) либо на второй хромосоме (*cry24*), мы осуществляем прекондиционирование организма плодовой мухи к оксида-

тивному стрессу, вследствие чего выживаемость значительно выше именно у особей опытной группы с индуцированной экспрессией трансгена. Следует отметить, что ген *per*, если не брать во внимание вариант конструкции, единственный в настоящем исследовании при сверхэкспрессии продлевает жизнь особям обоих полов, действуя как нейропротектор и модулятор синтеза глутатиона (Krishnan et al., 2009).

Работа выполнена в рамках государственного задания по темам «Молекулярно-генетические механизмы старения, продолжительности жизни и стрессоустойчивости *Drosophila melanogaster*» № гос. регистрации АААА-А18-118011120004-5 и «Комбинация факторов различной природы (пониженная температура, отсутствие освещения, ограничительная диета и воздействие геропротектора) для максимального увеличения продолжительности жизни особей рода *Drosophila*» № 18-7-4-23, № гос. регистрации АААА-А18-118011120008-3.

ЛИТЕРАТУРА

Соловьев И. А. Генетические механизмы влияния света и фототрансдукции на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster* / И.А. Соловьев, М.В. Шапошников, А.А. Москалев // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2018. – Т. 22. – № 7. – С. 878–886.

Arthaut L.D. Blue-light induced accumulation of reactive oxygen species is a consequence of the *Drosophila* cryptochrome photocycle / L.D. Arthaut, N. Jourdan, A. Mteyrek et al. // PloS one. – 2017. – V. 12. – № 3. – P. e0171836.

Krishnan N. The circadian clock gene period extends healthspan in aging *Drosophila melanogaster* / N. Krishnan, D. Kretschmar, K. Rakshit et al. // Aging (Albany NY). – 2009. – V. 1. – № 11. – P. 937.

Solovev I. Neuron-specific overexpression of core clock genes improves stress-resistance and extends lifespan of *Drosophila melanogaster* / I. Solovev, E. Dobrovolskaya, M. Shaposhnikov et al. // Experimental gerontology. – 2019. – V. 117. – P. 61–71.

ВИДЫ РАСТЕНИЙ – ИСТОЧНИКОВ ГЕРОПРОТЕКТОРНЫХ ВЕЩЕСТВ ВО ФЛОРЕ ОЗЕРА ДОН-ТЫ И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Н.С. Уляшева

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: ulyasheva-1309@yandex.ru

Изучение и эффективное использование растительных ресурсов является необходимой и важной мерой для устойчивого управления водно-болотными угодьями. Исследования растений водно-болотных угодий способствует выявлению потенциальных решений для их использования.

Выявление и изучение растений, обладающих геропротекторными свойствами, проводилось на территории оз. Дон-ты и его окрестностей. Видовой состав сообщества гидрофильных растений озера насчитывает 65 видов. Исходя из данных литературы и базы данных *geroprotectors* (<https://geroprotectors.org>), во флоре озера насчитывается 14 видов растений, обладающих геропротекторными свойствами (Фоменко, 2016). Виды растений из семейства *Nymphaeaceae*, такие как *Nymphaea alba* L., *N. tetragona* Georg и *Nuphar lutea* Smith, обладают важными лечебными свойствами, используются при лечении диабета, воспалений и заболеваний печени. Ранее опубликованные исследования сообщали об антиоксидантном, противовоспалительном и геропротекторном эффекте цветков *N. alba*. В растениях семейства *Nymphaeaceae* присутствуют химические компоненты – флаваноиды в листьях и черешках и антоцианы в листьях растений (Фоменко, 2016). Исследования на нематодах показали, что экстракт кувшинки повышает их двигательную активность в течение всего периода жизни, однако снижает объем потомства (Фоменко, 2016).

Растение *Caltha palustris* L. из семейства *Ranunculaceae* используют для лечения таких заболеваний, как артрит и ревматизм. Оно обладает противовоспалительным и антиоксидантным действием. Исследования экстракта проводили на мышах путем оценки фагоцитарной активности гранулоцитов и моноцитов периферической крови и гуморального иммунного ответа у мышей.

Вид растения *Lythrum salicaria* L. из семейства *Lythraceae* многие годы используется в медицине. Его применяли при болезнях желудочно-кишечного тракта, различных заболеваниях кожи. Соединения, присутствующие в растении, обладают антидиарейной, антимикробной, антиоксидантной, противовоспалительной активностью (Буданцев, 2008) Химические компоненты растения (флаваноиды и антоцианы), находящиеся в надземной части растения и цветках, увеличивают среднюю продолжительность жизни *Caenorhabditis elegans* на 32.9% (Фоменко, 2016).

Растения из семейства *Ericaceae*, такие как *Vaccinium oxycoccos* L., *V. vitis-idaea* L., *V. myrtillus* L., *V. uliginosum* L. и *Ledum palustre* L., применяются в медицине уже с давних времен. Исследования показали, что сок плодов *Vaccinium* оказывает противовоспалительное действие и усиливает эффект антибиотиков. Антоцианы обладают нейропротекторными и антиоксидантными свойствами. Сок плодов проявляет антибактериальную и антифунгальную активность. Отвар *V. myrtillus* L. обладает антигипоксическими свойствами, сумма антоцианов – сосудорасширяющими, нормализующими кровоток в микрокапиллярах, антоцианиди-

ны увеличивают численность эритроцитов в периферической крови и могут найти применение в химиотерапии для защиты костного мозга. Экстракт плодов проявляет антивирусную активность в отношении возбудителя клещевого энцефалита. Сумма антоцианов обладает противоопухолевым действием. Настой *V. uliginosum* обладает глипогликемическими и гипоглюкозурическими свойствами. Экстракт листьев *V. vitis-idaea* обладает седативными свойствами, отвар плодов – детоксикационными, противовоспалительными, отхаркивающими, противокашлевыми. Также экстракт листьев проявляет антивирусную активность в отношении вируса гриппа и герпеса. Добавление экстракта голубики в корм *Drosophila melanogaster* L. увеличивало их продолжительность жизни на 10%, а входящие в состав экстракта проантоцианидины увеличивали продолжительность жизни *Caenorhabditis elegans* L. на 8–28%. Также экстракт повышает выживаемость дрозophil в условиях воздействия индуктора свободных радикалов параквата. Проантоцианидины увеличивают устойчивость нематод к высоким температурам. В экспериментах на мышах также было показано улучшение долговременной памяти у животных, потребляющих экстракт голубики.

Виды растений из семейства *Betulaceae*, такие как *Alnus incana* L. и *Betula nana* L., обладают антиоксидантной, цитоксической и антимикробной активностью. В экспериментах экстракт соплодий проявляет противоопухолевую активность. Геропротекторные вещества найдены в листьях и коре деревьев. Химические компоненты, содержащиеся в растениях, исследовали в экспериментах на нематодах *Caenorhabditis elegans*, они способствовали увеличению продолжительности жизни нематод на 9% (Буданцев, 2009; Фоменко, 2016).

Растения *Filipendula vulgaris* L. и *Comarum palustre* L. из семейства *Rosaceae* обладают противовирусным, противовоспалительным, жаропонижающим, обезболивающим, вяжущим и кровоостанавливающим действием (Буданцев, 2009). Изученные химические компоненты, такие как лютеин, рутин в подземной части растения, кемпферол – в цветках, а также кверцетин, катехин в экспериментах на нематодах *Caenorhabditis elegans* увеличивали среднюю и медианную продолжительность жизни. Также кемпферол снижал смертность в условиях действия высоких температур на 10% (Фоменко, 2016).

В связи с увеличением доли пожилых людей в популяции в настоящее время становится необходимостью разработка альтернативных терапевтических веществ, направленных на профилактику возраст-зависимых заболеваний и не имеющих вредных по-

бочных эффектов. Использование биологически активных растительных соединений поможет решить данную проблему. На основании проведенного анализа данных литературы можно заключить, что все растения, обнаруженные на обследованной территории оз. Дон-ты, можно использовать для заготовки растительного сырья.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Разработка геропротекторных и радиопротекторных препаратов», № АААА-А19-119021590022-2.

ЛИТЕРАТУРА

Буданцев А.Л. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность / А.Л. Буданцев. – СПб.-М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – Т. 1. – 421 с.

Буданцев А.Л. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность / А.Л. Буданцев. – СПб.-М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – Т. 2. – 513 с.

Фоменко А.Н. Потенциальные геропротекторы / А.Н. Фоменко, Е.Н. Прошкина, А.Ю. Фединцев, В.О. Цветков, М.В. Шапошников, А.А. Москалев. – СПб.: Европейский Дом, 2016. – 216 с.

<https://geroprotectors.org>.

ГЕРОПОТЕКТОРНЫЕ И АДАПТОГЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРОИЗВОДНЫХ КИНЕТИНА У *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Д.В. Яковлева^{1,2}, Н.В. Земская^{1,2}, М.В. Шапошников¹, А.А. Москалев¹⁻³

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

²Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

³Московский физико-технический институт (государственный университет)

E-mail: dashka-konst@yandex.ru

Выявление соединений, увеличивающих стрессоустойчивость и продолжительность жизни (ПЖ) модельных организмов, является одной из актуальных проблем биogerонтологии (Moskalev, 2017). Цитокинины – гормоны растений пуринового ряда, которые участвуют в регуляции процессов роста, развития и старения (Natural plant..., 2018). Основной представитель цитокининов – кинетин.

Цель работы – изучить геропротекторный потенциал производных кинетина на модели *Drosophila melanogaster*.

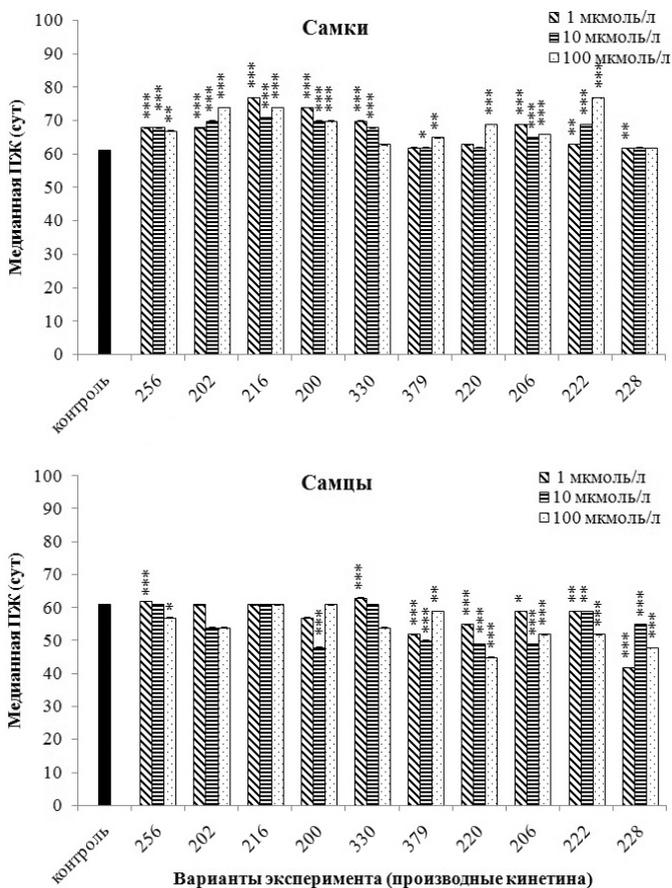
Экспериментальная работа проводилась на лабораторной линии *Drosophila melanogaster* дикого типа *Canton-S* (Блумингтон, США).

В эксперименте использовали 10 производных кинетина: № 256 ($C_{10}H_8ClN_5O$), 202 ($C_{15}H_{17}N_5O_3$), 216 ($C_{12}H_{11}N_5$), 200 ($C_{17}H_{19}N_5O_4$), 330 ($C_{16}H_{17}N_5O_4$), 379 ($C_{11}H_9N_5$), 220 ($C_8H_7N_5$), 206 ($C_{13}H_{15}N_5O_4$), 222 ($C_{13}H_{13}N_5$), 228 ($C_{15}H_{17}N_5$). Поверхность питательной среды смазывали дрожжевой пастой с добавлением растворенных в диметилсульфоксиде (ДМСО, PanReasAppliChem, США) веществ в концентрациях 1, 10 и 100 мкмоль/л. Оценивали влияние производных кинетина на медианную и максимальную (возраст смертности 90% выборки) ПЖ. Статистическую значимость различий медианной и максимальной ПЖ оценивали с помощью логрангового критерия (Mantel, 1966) и метода Ванг-Аллисона (Statistical methods..., 2004) соответственно.

Для определения эффектов производных кинетина на стрессоустойчивость мух подвергали трем различным видам неблагоприятных воздействий: паракват (окислительный стресс), гипертермия, голодание. Во всех экспериментах на стрессоустойчивость два раза в день подсчитывали количество умерших особей.

У самок в большинстве вариантов выявлены статистически значимые положительные эффекты на медианную (увеличение до 26.2%) и максимальную (увеличение до 10.8%) ПЖ. Наибольший положительный эффект на медианную ПЖ самок обнаружен при воздействии производного № 216 в концентрации 1 мкмоль/л (26.2%) и № 202 в концентрации 100 мкмоль/л (21.3%). У самцов наблюдали преимущественно статистически значимые ($p < 0.05$) отрицательные эффекты на медианную (снижение до 31.1%) и максимальную (снижение до 27.9%) ПЖ. Только одно производное кинетина, № 330, в концентрации 1 мкмоль/л привело к достоверному ($p < 0.05$) увеличению как медианной (3.3%), так и максимальной (8.8%) ПЖ (см. рисунок). Полученные данные указывают на разнонаправленный эффект воздействия производных кинетина на самцов и самок дрозофил.

Обработка производными кинетина оказывала преимущественно положительный эффект на устойчивость самок к окислительному стрессу. Вещество № 222 в концентрации 1 мкмоль/л вызвало увеличение выживаемости на 50%, а вещество № 228 в концентрациях 1 и 100 мкмоль/л – на 12.5 и 50% соответственно. Производные № 220 и 206 в концентрации 100 мкмоль/л показали достоверное снижение выживаемости на 37.5%. У самцов только одно производное, № 222, в концентрациях 10 и 100 мкмоль/л привело к достоверному увеличению выживаемости на 12.5%. При гипертермии у самок производные кинетина № 256 (100 мкмоль/л), 202 (10 мкмоль/л), 216 (1 и 100 мкмоль/л) и 200 (10 мкмоль/л) привели к снижению выживаемости на 7.7%. Вещества № 256 (1 мкмоль/л)



Эффекты производных кинетина на продолжительность жизни.

и 216 (10 мкмоль/л) увеличили выживаемость на 23.1%, вещество № 200 в концентрациях 1 и 100 мкмоль/л увеличило выживаемость на 23.1 и 30.8% соответственно, а № 228 (10 мкмоль/л) – на 6.2%. У самцов положительный эффект наблюдался после обработки веществами № 206 (10 мкмоль/л), 222 (100 мкмоль/л) и во всех трех концентрациях вещества № 228.

Анализ влияния производных кинетина на устойчивость к голоданию показал, что у самок только одно вещество № 206 (1 мкмоль/л) вызвало статистически значимое увеличение выживаемости на 8.3%, а вещество 330 (100 мкмоль/л) – снижение на 25%, но оно не является достоверным ($p > 0.05$); у самцов ста-

статистически значимое увеличение выживаемости на 12.5% показали сразу три производных кинетина: № 256 (1 мкмоль/л), 216 (1 мкмоль/л) и 200 (10 мкмоль/л).

Таким образом, обнаружены отрицательные эффекты производных кинетина на продолжительность жизни самцов, у самок большинство исследованных соединений увеличивало продолжительность жизни. У самцов не выявлено отрицательного влияния производных кинетина на устойчивость ко всем видам стресса; большинство производных кинетина показало положительный эффект на выживаемость самок при окислительном стрессе; при гипертермии у самцов вещества № 206, 222, 228 увеличивали выживаемость; производные кинетина увеличивали устойчивость самцов к голоданию, но не оказывали эффекта на выживаемость самок.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Разработка геропротекторных и радиопротекторных препаратов», № АААА-А19-119021590022-2, по теме «Молекулярно-генетические механизмы старения, продолжительности жизни и стрессоустойчивости *Drosophila melanogaster*» № АААА-А18-118011120004-5 и по проекту комплексной программы УрО РАН № 18-7-4-23 «Комбинация факторов различной природы (пониженная температура, отсутствие освещения, ограничительная диета и воздействие геропротектора) для максимального увеличения продолжительности жизни особей рода *Drosophila*», № АААА-А18-118011120008-3.

ЛИТЕРАТУРА

Mantel N. Evaluation of survival data and two new rank order statistics arising in its consideration / N. Mantel // Cancer Chemother Rep. – 1966. – P. 163–170.

Moskalev A.A. Studying the geroprotective effects of inhibitors suppressing aging-associated signaling cascades in model organisms / A.A. Moskalev, M. Shaposhnikov, I. Solovov // Medical news of North Caucasus. – 2017. – V. 12, N 3. – P. 342–347. doi: 10.14300/mnnc.2017.12090

Natural plant hormones cytokinins increase stress resistance and longevity of *Caenorhabditis elegans* / A. Kadlecova, T. Jirsa, O. Novak et al. // Biogerontology. – 2018. – V. 19, N 2. – P. 109–120. doi: 10.1007/s10522-017-9742-4

Statistical methods for testing effects on «maximum lifespan» / C. Wang, Q. Li, D.T. Redden et al. // Mech. Ageing. Dev. – 2004. – V. 125, N 9. – P. 629–632. doi: 10.1016/j.mad.2004.07.003

Секция 5

ФИЗИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МИКРООРГАНИЗМОВ

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БОКСИТОВОЙ ПЫЛЬЮ НА АНАТОМО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ *LOBARIA PULMONARIA* L.

М.С. Атоян

Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
E-mail: marinka140895@mail.ru

В Республике Коми на долю лесных площадей приходится 80% территории. Неотъемлемым компонентом лесных экосистем являются лишайники, которые как все живые организмы приспособляются к постоянно изменяющимся условиям среды. Лишайники – это устойчивая саморегулирующаяся ассоциация гриба и водорослей, они способны выживать и восстанавливать свои функции в экстремально суровых условиях. Разнообразие и распространение лишайников в значительной степени определяется экологическими условиями.

Общепризнано, что лишайники отличаются свойством аккумулировать поллютанты и являются наиболее удобными объектами для биоиндикации состояния окружающей среды (Бязров, 2002; Walker, Pystina, 2006).

Средне-Тиманское месторождение – крупнейшее месторождение бокситовой руды в Евразии. Свыше 90% руды на данном месторождении добывается открытым способом, что обуславливает значительное загрязнение близлежащей территории мелкодисперсной бокситовой фракцией.

Цель работы – оценить влияние загрязнения среды бокситовой пылью на анатомо-биохимические характеристики лишайника *Lobaria pulmonaria* L.

Лишайники отбирали в августе 2017 г. в старовозрастных ельниках зеленомошной группы. Фоном служила удаленная от промышленной зоны территория, сильно загрязненный участок нахо-

дился вблизи шихтовального склада. Объектом исследований служили талломы эпифитного листоватого лишайника *Lobaria pulmonaria* L. (Hoffm.).

При загрязнении среды бокситовой пылью значительная часть попадающих на импактную территорию соединений металлов представлена их окислами, имеющими низкую растворимость. Твердые частицы бокситовой пыли, попадая на лишайники, концентрируются на их поверхности и могут смываться атмосферными осадками, поэтому общее содержание металлов может изменяться в зависимости от погодных условий.

Чтобы получить представление о локализации металлов, мы провели промывку водой талломов, собранных на чистом и загрязненном участках. Как показал анализ, с поверхности и из межклеточного пространства корового слоя талломов вымылось более 60% макро- и микроэлементов. Значительная часть была представлена соединениями Fe, Al. Полученные данные показали, что существенная часть ионов металлов бокситовой пыли сосредоточена во внутриклеточном пространстве лишайника, что подтверждается результатами анализа микросрезов талломов, а также на поверхности корового слоя талломов. Загрязнение бокситовой пылью вызывало значимое уменьшение толщины таллома лишайника по сравнению с талломами с фонового участка.

Следует отметить, что бокситовая пыль, покрывающая лишайники, оказывала влияние не только на анатомические показатели лишайника, но и на физиологические процессы. Накопление бокситовой пыли на поверхности лишайников приводило к уменьшению поступления света к водорослевому слою и снижало в два раза интенсивность фотосинтеза. Высокие концентрации ионов металлов вызывали окислительный стресс, проявляющийся в избыточном образовании активных форм кислорода в талломах лишайников (Жолупаев, 2007). В ходе развития стресса достигалась максимальная активация механизмов, включающих антиоксидантные и репарационные системы. Одним из ключевых ферментов антиоксидантной системы является супероксиддисмутаза (СОД). Как показали наши исследования, загрязнение бокситовой пылью приводило к достоверному снижению (более чем в пять раз) активности СОД на фоне увеличения содержания растворимого белка. Избыточное образование активных форм кислорода инициировало реакцию перекисного окисления липидов. Загрязнение бокситовой пылью приводило к снижению общего содержания липидов в талломах и увеличению перекисного окисления липидов (ПОЛ).

Таким образом, установлено, что в зоне влияния Средне-Тиманского бокситового месторождения в талломах лишайника *Loberia pulmonaria* накапливаются значительные количества алюминия, железа, марганца, цинка и других металлов. Основная часть Fe и Al локализована на поверхности таллома и в межклеточном пространстве верхнего корового слоя. Также поллютанты аккумулируются во внутриклеточном пространстве лишайника, главным образом, в гифах медуллярного слоя. Загрязнение бокситовой пылью снижает толщину таллома. Накопление бокситовой пыли на поверхности лишайников приводит к уменьшению поступления света к водорослевому слою и снижает интенсивность фотосинтеза и водообмена. В ответ на окислительный стресс, вызванный поступлением в клетку ионов металлов, снижается активность СОД и увеличивается активность ПОЛ, участвующих в нейтрализации активных форм кислорода.

Полученные нами данные позволяют заблаговременно оценить негативное воздействие антропогенной нагрузки на лишайнобиоту задолго до ее необратимого угнетения.

Работа выполнена в рамках темы «Физиология и стресс-устойчивость фотосинтеза растений и пойкилогидрических фотоавтотрофов в условиях Севера» (№ Государственной регистрации АААА-А17-117033010038-7).

ЛИТЕРАТУРА

Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л.Г. Бязров. – М.: Научный мир, 2002. – 336 с.

Пыстина Т.Н. Оценка степени загрязнения растительности и почв в зоне воздействия Средне-Тиманского бокситового рудника / Т.Н. Пыстина, Е.Г. Кузнецова // Механизмы устойчивости и адаптации биологических систем к природным и техногенным факторам: Материалы Всероссийской научной конференции. – Киров: «Веси», 2015. – С. 314–317.

Колупаев Ю.Е. Активные формы кислорода в растениях при действии стрессоров: образование и возможные функции / Ю.Е. Колупаев // Вестник Харьковского национального аграрного университета. Сер. Биология. – 2007. – Вып. 3(12). – С. 6–26.

Walker T.R. The use of lichens to monitor terrestrial pollution and ecological impacts caused by oil and gas industries in the Pechora Basin, NW Russia / T.R. Walker, T.N. Pystina // Herzogia. – 2006. – V. 19. – P. 229–238.

ДЕГИДРИНЫ В УЗЛАХ КУЩЕНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ХОЛОДОВОМ ЗАКАЛИВАНИИ И РАЗЗАКАЛИВАНИИ: АНАЛИЗ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ И СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА

О.А. Боровик¹, А.И. Катышев¹, А.В. Поморцев¹, А.В. Корсукова¹,
Е.А. Полякова^{1,2}, Е.А. Фомина³, О.И. Грабельных^{1,2}, Н.В. Дорофеев¹,
Г.Б. Боровский¹

¹ Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН

² Иркутский государственный университет

³ Институт генетики и цитологии НАН Беларуси

E-mail: ol.borovik@mail.ru

Участие дегидринов в формировании механизмов защиты растений при действии неблагоприятных факторов среды в настоящее время представляет интерес для исследования. В то же время вопрос относительно функционирования данных белков при действии отрицательных температур и раззакаливании растений изучен мало. Показано, что при закаливании озимой пшеницы содержание дегидринов возрастает, однако до сих пор неизвестны ключевые для развития морозоустойчивости дегидрины. В связи с этим целью работы явился сравнительный анализ экспрессии генов и содержания белков дегидринов в узлах кущения у двух сортов озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), отличающихся по морозоустойчивости, на разных этапах закаливания и при раззакаливании.

Сорт «Иркутская» получен в СИФИБР СО РАН (г. Иркутск) в результате отбора образцов озимой пшеницы, способных перезимовывать в условиях Восточной Сибири. Образцы ранее были взяты из коллекции ИЦИГ СО РАН (г. Новосибирск). Сорт «Память» создан методом индивидуального отбора из гибридной популяции 1256t/Леда//Панацея в КНИИСХ имени П.П. Лукьяненко (г. Краснодар), имеет среднюю морозоустойчивость. Сорт «Иркутская» по сравнению с сортом «Память» является высоко холодоустойчивым и зимоустойчивым сортом.

Растения озимой пшеницы выращивали в контейнерах с серой лесной среднесуглинистой почвой в климатической камере («CLF Plant Climatics», Германия) при температуре +20/+12 °С (день/ночь) и 12-часовом фотопериоде, влажности воздуха 70% и освещенности 180-200 мкмоль/(м²с) в течение 25–28 дней на станции искусственного климата Фитотрон при СИФИБР СО РАН. Влажность почвы поддерживали путем полива через трубку до достижения поливного веса. Для прохождения растениями первой фазы холодого закаливания температуру в камере снижали до +8/ +2 °С (день/ночь, 12-часовой фотопериод) и растения выдер-

живали в течение 10 дней. Для прохождения растениями двух фаз холодого закаливания закаленные при низкой положительной температуре растения подвергали обработке температурой -2°C в темноте в течение 10 дней в камере MKT-240 («Binder», Германия). После прохождения двух фаз закаливания растения подвергали раззакаливанию при температуре $+10^{\circ}\text{C}$ (день/ночь) при 12-часовом фотопериоде в течение двух дней.

В экспериментах использовали узел кущения, который является центром регенерации и новообразования органов растения. Благодаря узлу кущения озимая пшеница перезимовывает. Уровень экспрессии генов дегидринов на уровне целого транскриптома и сравнительный анализ экспрессии генов проводили с использованием ДНК-микрочипов и сканера ДНК-микрочипов высокой плотности (Agilent SureScan Microarray Scanner) с программным обеспечением («Agilent Technologies», США). Содержание и спектр дегидринов оценивали иммунохимическим методом. Белки, разделенные в 12.5%-ном полиакриламидном геле с додецилсульфатом натрия, переносили на нитроцеллюлозную мембрану («GE Healthcare», Германия), которую инкубировали с антителами против дегидринов (ADI-PLA-100, «Enzo Life Sciences», США) в разведении 1:1000. В работе использовали вторичные антитела (AS09 607, «Agrisera», Швеция), конъюгированные со щелочной фосфатазой, в разведении 1:2500. Детекцию белков проводили с помощью 5-бromo-4-хлоро-3-индолил фосфата и нитротетразолия синего («Thermo Scientific», Литва).

В данной работе был проведен сравнительный анализ экспрессии генов на уровне целого транскриптома и содержания дегидринов в условиях холодого закаливания при низких положительных температурах (первая фаза закаливания), в условиях отрицательных температур (две фазы закаливания) и при раззакаливании в двух различающихся по морозостойкости сортах озимой пшеницы – «Иркутская» и «Память». После первой фазы закаливания отмечены различия в экспрессии генов *Wcor726*, *rab* и *Wzy1-1*. Экспрессия данных генов была выше у сорта «Иркутская». Наибольшие различия в изменении экспрессии генов (увеличение более чем в два раза) были отмечены после прохождения растениями озимой пшеницы двух фаз холодого закаливания. При этом повышение экспрессии 1861 гена наблюдалось в узлах кущения и в сорте «Иркутская», и в сорте «Память». После двух фаз закаливания у сорта «Иркутская» наблюдали более сильное увеличение экспрессии по сравнению с «Памятью» по генам *Wcor726*, *rab*, *dhn14*, *dhn13*.

Наиболее сильные отличия по содержанию белка дегидринов в узлах кущения было отмечено после прохождения растениями озимой пшеницы двух фаз холодового закаливания. Содержание дегидринов увеличивалось у обоих сортов, однако оно было больше у более морозоустойчивого сорта «Иркутская». В узлах кущения обоих сортов была отмечена индукция отрицательной температурой полипептидов с молекулярными массами 60 и 46 кДа и увеличение синтезированных после первой фазы закаливания полипептидов с молекулярными массами 209-169, 70 и 55 кДа. Раззакаливание не влияло на содержание дегидринов в узлах кущения сорта «Иркутская», в то время как в сорте «Память» происходило дальнейшее увеличение дегидринов с молекулярными массами 70 и 50 кДа. Причину такого увеличения дегидринов при раззакаливании менее устойчивого к холоду сорта в дальнейшем предстоит выяснить.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 17-54-04076 и 18-54-00026.

ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ ХВОИ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ОБЫКНОВЕННОГО

Н.В. Герлинг, С.И. Тарасов
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: gerling@ib.komisc.ru

Площадь ассимиляционной поверхности растений широко используется в ботанических и физиологических исследованиях. Зная площадь отдельного листа и общей листовой поверхности растения, можно оценить его функциональную активность и фотосинтетический потенциал. В литературе можно найти оценки площади поверхности хвои многих видов хвойных растений (Цельникер, 1982; **Bond-Lamberty et al., 2003**), однако оценок площади поверхности хвои можжевельника обыкновенного не существует. Ранее нами была разработана методика по оценке площади поверхности хвои пихты сибирской (Тарасов, Герлинг, 2018).

Цель работы – адаптация предложенного нами метода оценки площади поверхности листовой пластинки пихты сибирской к можжевельнику обыкновенному.

Исследование можжевельника обыкновенного проводили в 2018 г. в ельнике чернично-сфагновом, расположенном в подзоне средней тайги (62°16'03" с.ш., 50°41'07" в.д.). Образцы хвои в количестве 30 экз. отбирались из побегов первого-третьего го-

дов развития из средней части кроны 10 здоровых кустов можжевельника обыкновенного. По представленной методике измерялась ширина и длина хвоинок. Далее хвоинки разрезались на сегменты, поперечные срезы хвои готовили на микротоме МЗП-01 (Техном, Россия). Готовые препараты просматривали в световом микроскопе «Axiovert 200 M» (Karl Zeiss, Германия). Фотосъемку производили цифровой камерой AxioCam ERc 5s (Carl Zeiss, Германия). Измерение морфометрических параметров (ширины и периметра сегмента) проводили при помощи программы Carl Zeiss Vision (Carl Zeiss, Германия).

Хвоинка можжевельника обыкновенного иглоподобная, продолговато-суженная, на конце заостренная, а при основании расширенная (Матюхин, 2006). Рассмотрим отдельную хвоинку, которую формально можно представить в виде некоторой геометрической фигуры. Пусть длина хвоинки равна h , а ширина – m . Разделим хвоинку сечениями, ортогональными главной оси хвоинки, на N частей длиной dh . При большом числе сечений ($N \rightarrow \infty$) длина отдельного сегмента минимальна ($dh \rightarrow 0$). Тогда полученные N сегментов могут рассматриваться как тела, ограниченные цилиндрической боковой поверхностью. Другими словами, при $N \rightarrow \infty$ и $dh \rightarrow 0$ периметры оснований отдельного сегмента можно считать равными. Обозначим периметр плоскости основания i -того сегмента как P_i , тогда площадь боковой поверхности i -того сегмента равна

$$S_i = P_i \cdot dh. \quad (1)$$

Преобразуем поверхность сегмента в плоскость. Площадь поверхности i -того сегмента эквивалентна площади прямоугольника со сторонами, равными P_i и dh . Следовательно, общая площадь поверхности хвоинки S может быть рассчитана как сумма площадей поверхностей N сегментов или N прямоугольников:

$$S = \sum_{i=1}^N S_i. \quad (2)$$

Однако периметр P_i изменяется по длине хвоинки. Это приводит к тому, что геометрическая фигура, полученная в результате трансформации поверхности хвоинки, не является правильным геометрическим телом. Чтобы придать геометрической фигуре необходимую правильную форму, нужно ранжировать сегменты по возрастанию (или убыванию) большей стороны (P_i). В результате получим геометрическую фигуру, которая для листовой пластинки можжевельника, как и для пихты, хорошо аппроксимируется трапецией. Основания полученной трапеции равны P_{min} и P_{max}

(P_{min} – минимальное P_i , P_{max} – максимальное P_i), одна боковая сторона перпендикулярна основаниям трапеции и равна h , а координаты множества точек другой боковой стороны удовлетворяют линейному уравнению.

Чтобы показать это, было проведено ранжирование сегментов каждой из 30 хвоинок. По результатам ранжирования были получены регрессионные уравнения зависимости периметра сегмента от его координаты на оси хвоинки. Во всех случаях уравнение регрессии имеет вид $y = a + bx$, коэффициент детерминации не менее 0.96. Погрешностью, обусловленной отбрасыванием апикальной части (Δh), можно пренебречь. Таким образом, для хвои можжевельника проведенные преобразования позволяют сопоставить поверхности хвоинки и поверхность трапеции. Следовательно, площадь поверхности хвоинки может быть рассчитана как площадь трапеции:

$$S = \frac{P_{min} + P_{max}}{2} \cdot h, \quad (3)$$

где P_{min} – минимальный периметр, P_{max} – максимальный периметр, h – длина хвоинки. Выражение $\bar{P} = \frac{P_{min} + P_{max}}{2}$ представляет собой средний периметр и, следовательно, площадь поверхности может быть найдена как

$$S = \bar{P}h. \quad (4)$$

Как следует из (4), для проведения расчетов требуется знание среднего периметра, измерение которого в полевых условиях затруднено. Поэтому желательно осуществить привязку указанного параметра к параметрам хвоинки, измеряемым простым прямым способом, например, к ширине хвоинки.

Связь между шириной хвоинки и ее периметром исследовалась методами регрессионного анализа. Практически моделировалась зависимость между шириной и периметром полученных гистологических срезов. Взаимосвязь между шириной (m_i) и периметром сегмента (P_i) аппроксимировалась линейной функцией

$$P_i = a_0 + b_0 \cdot m_i. \quad (5)$$

Анализ качества модели показал, что ее параметры статистически значимы, модель описывает имеющиеся данные адекватно (см. таблицу).

Таким образом, методика оценки площади поверхности отдельной листовой пластинки можжевельника сводится к следующему: измерить длину хвоинки, измерить максимальную и минимальную ширину хвоинки, рассчитать среднюю ширину хвоинки

Параметры уравнения связи периметра и ширины хвоинки можжевельника и их оценка

Коэффициент уравнения	Значение коэффициента	Стандартная ошибка коэффициента SE	Расчетное значение t-критерия	p-уровень	Нижняя доверительная граница Δ_1	Верхняя доверительная граница Δ_2	Коэффициент детерминации R^2
a	197.664	24.247	8.152	0.00	150.014	245.315	0.961
b	2.215	0.021	106.052	0.00	2.174	2.256	

(на практике достаточно измерить ширину хвоинки в средней части), по уравнению (5) определить средний периметр, по формуле (4) определить площадь поверхности хвоинки.

ЛИТЕРАТУРА

Матюхин Д.Л. Виды и формы хвойных, культивируемые в России / Д.Л. Матюхин, О.С. Манина, Н.С. Королева. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – Ч. 1. – С. 12–185.

Тарасов С. И. Метод оценки площади поверхности хвои пихты сибирской / С.И. Тарасов, Н.В. Герлинг // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Матер. XVI Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием (3–5 декабря 2018 г., г. Киров). – Киров: ВятГУ, 2018. – Кн. 2. – С. 112–116.

Цельникер Ю.Л. Упрощенный метод определения поверхности хвои сосны и ели / Ю.Л. Цельникер // Лесоведение. – 1982. – № 4. – С. 85–88.

Bond-Lamberty B. The use of multiple measurement techniques to refine estimates of conifer needle geometry / B. Bond-Lamberty, C. Wang, S.T. Gower // Can. J. For. Res. – 2003. – N 33. – P. 101–105.

ВЛИЯНИЕ КОНСОРЦИУМА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОБЩЕГО АЗОТА, АЛЮМИНИЯ И ЖЕЛЕЗА В СТОЧНОЙ ВОДЕ АЭРОТЕНКОВ

А.В. Гогонин, Е.М. Анчугова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: algogonin@gmail.com

Природные водоемы являются не только средой обитания организмов, но и источником важнейшего ресурса для всех отраслей современной промышленности. Российская Федерация обладает достаточно большим объемом водных ресурсов. К ним относятся следующие водоемы: свыше 2.5 млн. больших и малых рек, более 100 тыс. болот, около 2.1 млн. разной площади озер и других незначительных водных объектов (Государственный доклад..., 2017). Потребление водных ресурсов в различных отраслях чело-

веческой деятельности несет за собой негативные последствия в виде миграции поллютантов и биогенных веществ в водные экосистемы, что приводит к эвтрофикации и накоплению поллютантов в живых организмах водной среды.

В зависимости от происхождения выделяют три группы сточных вод – бытовые, производственные и ливневые, которые поступают на станцию биологической очистки. Бытовые стоки формируются за счет водопотребления жилыми домами, бытовыми отделами промышленных предприятий, отраслями общественного питания, больницами и т.д. Они загрязнены в основном физиологическими выделениями людей, хозяйственными загрязнителями. Бытовые стоки могут содержать в себе большое количество микроорганизмов (Карманов, 2018). Производственные сточные воды обычно классифицируют на промышленные и коммунальные стоки. Они загрязнены преимущественно органическими и неорганическими веществами (ионы аммония, нитратов, нитритов, фенолы, ионы железа и алюминия и т.д.) (Рехтин, 2016). Ливневые сточные воды являются результатом естественного выпадения осадков. Они характеризуются сезонностью в связи с таянием льда и снега, особенно в северных широтах. Ливневые стоки содержат большое количество механических примесей в виде песка, мусора, нефтепродуктов и т.д. (Благоразумова, 2014).

Неравномерность и сезонность образования сточных вод требует определенных модернизаций и усовершенствования биологических станций очистки. Перспективным направлением для устранения сезонного снижения эффективности работы активного ила является периодическое внесение микроводорослевой биомассы в аэротенки. Данная операция позволяет обновлять состав активного ила, дополнительно насыщать водную толщу кислородом, а также способствует более эффективной очистке сточных вод от загрязняющих веществ.

Цель работы – изучение влияния консорциума микроводорослей на изменение содержания общего азота, алюминия и железа в сточной воде аэротенков.

В данном исследовании использовали консорциум, созданный на основе видов микроводорослей *Eustigmatos magnus* (B.-Peters.) Hibberd и *Coelastrum proboscideum* Bohlin in Wittrock.

Вид *E. magnus* относится к отряду Eustigmatophyta. Данный вид микроводорослей в экологической биотехнологии практически не применялся, но достаточно хорошо изучены его толерантность к высоким концентрациям тяжелых металлов и устойчивость к воздействию на культуру клеток достаточно высоких температур (Сафиуллина, 2009, 2011).

Вид *C. proboscideum* является представителем отдела Chlorophyta. Он широко представлен в пресных водоемах с различным уровнем загрязнения органическими веществами (Топачевский, 1984). Штамм *C. proboscideum* (СУКОА ЧН-033-14) выделен из аэротенков станции биологической очистки лесопромышленного комплекса. Биотехнологические свойства данного вида изучены слабо.

Сточная вода отбиралась из аэротенков станции биологической очистки в день эксперимента. В лаборатории образцы сточной воды инокулировались 1% биомассы микроводорослей от общего объема воды в 1.5 л с титром около $2.6 \cdot 10^6$ кл./мл, затем сточная вода барботировалась на протяжении 24 ч. Окончательным этапом являлся количественный химический анализ образцов сточных вод. Контролем служила сточная вода без внесения инокулятов микроводорослей.

Хотя снижение было зафиксировано по всем группам загрязняющих веществ, однако достоверные различия ($p=0.90$) между инокулированными образцами и контролем были выявлены только в содержании алюминия и общего азота (см. таблицу). Достоверного снижения железа не наблюдали, вероятно, потому, что включение железа и его форм в метаболизм клетки происходит медленнее, чем биогенных веществ, так что следует увеличить продолжительность эксперимента до 48 ч. Возможно, в случае с железом происходит снижение проницаемости мембран клеток. Алюминий поглощается клетками эффективнее железа в связи с его меньшей токсичностью по отношению к микроводорослям. Кроме того, алюминий в небольших концентрациях может стимулировать рост культуры (Foy, 1972).

В результате консорциум микроводорослей на основе *Eustigmatos magnus* и *Coelastrum proboscideum* снижал общий азот на 19%, алюминий на 12% и железо на 5% по отношению к контролю. В дальнейших исследованиях рекомендуется увеличить время проведения эксперимента для более эффективного снижения поллютантов в сточной воде.

Снижение содержания загрязняющих веществ при внесении консорциума микроводорослей в сточную воду

Загрязняющие вещества	Контроль	S	Консорциум	S
Железо (Fe), мг/мл	0.17	±0.03	0.16	±0.029
Алюминий (Al), мкг/мл	340	±26	300	±18
Общий азот (N _{общ}), мг/мл	2.6	±0.5	2.1	±0.4

Примечание. S – стандартное отклонение.

Благодарности: за предоставленные культуры микроводорослей руководителю международной коллекции Института биологии Коми НЦ УрО РАН в.н.с. Е.Н. Патовой, сотрудникам экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН – за определение в сточной воде концентрации загрязняющих веществ.

Работа выполнена в рамках Государственного задания АААА-А17-117121270025-1.

ЛИТЕРАТУРА

Благодарзума А.М. Обработка и обезвреживание осадков городских сточных вод / А.М. Благодарзума. – СПб., 2014. – 208 с.

Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2017 году». – М., 2015. – 473 с.

Карманов А.П. Технология очистки сточных вод: Учебное пособие / А.П. Карманов, И.Н. Полина. – М., 2018. – 212 с.

Рехтин А.Ф. Проектирование сооружений для очистки сточных вод / А.Ф. Рехтин, Е.Ю. Курочкин, Б.П. Лашкинский. – Томск, 2016. – 314 с.

Сафиуллина Л.М. Толерантность почвенных водорослей *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) Hibberd (Eustigmatophyta) и *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow in Cleve et Grunow (Bacillariophyta) к воздействию тяжелых металлов / Л.М. Сафиуллина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 100. – С. 42–44.

Сафиуллина Л.М. Устойчивость почвенной водоросли *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) Hibberd (Eustigmatophyta) к действию высоких температур / Л.М. Сафиуллина // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13. – № 5. – С. 212–215.

Топачевский А.В. Пресноводные водоросли Украинской ССР / А.В. Топачевский, Н.П. Масюк. – Киев, 1984. – 336 с.

Foy C. Response of *Chlorella pyrenoidosa* to aluminium and low pH / C. Foy, G. Gerloff // J. Physiology. – 1972. – Vol. 8. – P. 268–271.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ГЛУТАТИОНА И ТИОСУЛЬФАТА НАТРИЯ В ПИТАТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР НА СОРБЦИЮ И СВЯЗЫВАНИЕ ИОНОВ МЕДИ (II) РАСТЕНИЯМИ ЯЧМЕНЯ

А.В. Жукова¹, С.Г. Скугорева^{1,2}

¹ Вятский государственный университет

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: azhukova98@gmail.com

При избыточном содержании тяжелых металлов (ТМ) в среде выращивания растения могут их аккумулировать. Особое положение среди ТМ занимает медь и ее соединения. В небольших концентрациях медь является микроэлементом, в высоких дозах она

достаточно токсична. Токсичность меди возникает, главным образом, благодаря ее способности блокировать SH-группы белков, в особенности ферментов, и повышать проницаемость мембран митохондрий (Чертко, 2012).

Растения способны связывать Cu^{2+} в больших количествах. В экспериментах, проведенных нами ранее, установлено, что наибольшей способностью к связыванию и сорбции ионов меди (II) обладали растения ячменя *Hordeum vulgare* по сравнению с активированным углем, цеолитом, торфом, высушенной биомассой микромицета *Fusarium culmorum* и цианобактерии *Noctoc paludosum* (Скугорева, 2018).

В качестве металлсвязывающих агентов могут выступать восстановленный глутатион и тиосульфат натрия. Связывание ионов меди (II) глутатионом и тиосульфатом натрия открывает потенциал данных веществ в качестве детоксикаторов. Возможно, что при выращивании растений на питательных средах с добавкой металлсвязывающих агентов связывание и сорбция Cu^{2+} будет происходить быстрее.

Цель работы – выявить влияние добавок глутатиона и тиосульфата натрия в среду выращивания на удаление Cu^{2+} из раствора растениями ячменя.

Объектами исследования были растения ярового ячменя *Hordeum vulgare* L. Семена ячменя предварительно обрабатывали в течение 20 мин. 1%-ным раствором перманганата калия, промывали в проточной воде, затем проращивали в чашках Петри в течение четырех суток в термостате при температуре 25 °С. На пятый день проростки ячменя переносили на гидропонику на питательный раствор Кнопа. В каждый сосуд высаживали по 24 проростка. Сосуды с проростками помещали в контролируемые условия климатической камеры на 10 сут.: фотопериод – 14 ч, освещенность – 1000 лк, температурный режим выращивания +13/21 °С (ночь/день).

В раствор к 15-суточным растениям делали добавку глутатиона и тиосульфата натрия, чтобы их концентрации в питательном растворе составила 10^{-3} моль/л. Через четыре дня растения извлекали из растворов, корни отмывали дистиллированной водой. У растений отделяли листья, подсушивали до постоянной массы, затем их измельчали, растирали в фарфоровой ступке и просеивали через сито с диаметром отверстий 0.25 мм.

Измерение содержания меди (II) в растворе проводили потенциометрическим методом на четырехканальном иономере «Эксперт-001-3(0.4)», подключенным к персональному компьютеру, с ионоселективным электродом ЭЛИС-131Cu.

В стакан наливали 50 мл раствора нитрата меди (II) с концентрацией 10^{-3} и 10^{-4} моль/л, погружали в раствор магнит, ионоселективный электрод, рН-электрод и электрод сравнения, включали магнитную мешалку. Затем запускали программу приема данных с иономера. Пробы листьев взвешивали (масса около 50 мг), затем быстро вносили в стакан с раствором нитрата меди (II) и записывали кривые кинетики изменения концентрации Cu^{2+} в течение 40 мин. в режиме реального времени (Скугорева, 2018).

После проведения опыта определяли содержание меди в растворе и сорбенте с помощью инверсионно-вольтамперометрического анализа (ИВА) (Сборник методик..., 2004). Пробы сорбента перед анализом предварительно подсушивали, озоляли (ГОСТ 26929-94, 1996), готовили вытяжку (Сборник методик..., 2004).

Использование добавок металлсвязывающих агентов не оказало значительного влияния на кинетику концентрации ионов меди (II) при экспозиции листьев ячменя на растворах с концентрацией 10^{-3} и 10^{-4} моль/л. При экспозиции на растворе с 10^{-3} моль/л Cu^{2+} листьев ячменя через 600 с (10 мин.) отмечали снижение концентрации ионов в растворе в 2.3 раза по сравнению с исходной концентрацией (рис. 1). При использовании раствора 10^{-4} моль/л Cu^{2+} снижение концентрации ионов происходило быстрее, уже через 200 с отмечали почти полное удаление ионов металла из раствора.

Отличие потенциометрического метода от ИВА в том, что потенциометрический метод показывает количество свободных, не связанных в комплексы ионов меди (II) в растворе, а с помощью ИВА определяется общее количество Cu^{2+} (в том числе связан-

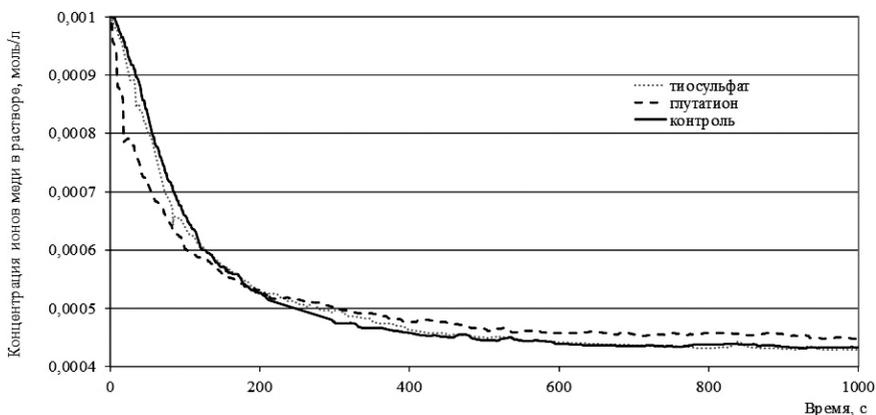


Рис. 1. Кинетика концентрации ионов меди (II) в растворе при экспозиции листьев ячменя на растворе с концентрацией Cu^{2+} 10^{-3} моль/л.

ных), так как при пробоподготовке разрушаются все комплексы, образованные с Cu^{2+} . По разнице значений содержания ионов меди в растворе, полученных ИВА и потенциметрией, можно вычислить то количество Cu^{2+} , которое связалось в комплексы при экспозиции листьев ячменя.

По данным ИВА, содержание меди в сорбентах после экспозиции на растворе с концентрацией 10^{-4} моль/л для варианта с тиосульфатом мало различалось с контролем (рис. 2А). Добавка глутатиона приводила к лучшей в 1.2 раза сорбции меди растениями ячменя. Для раствора с концентрацией 10^{-3} моль/л добавка металл-

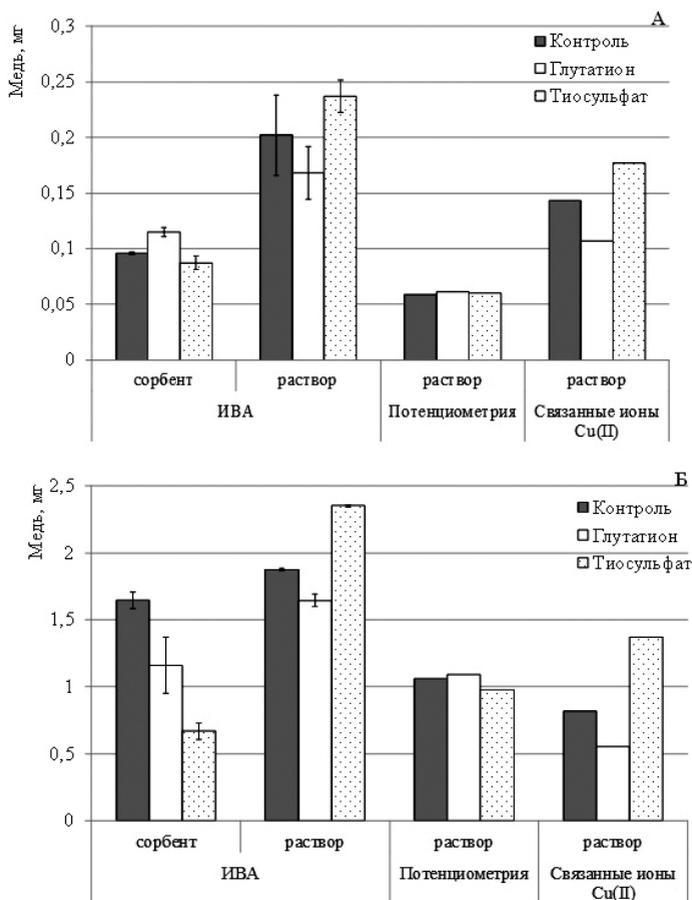


Рис. 2. Содержание меди в сорбенте и растворе с концентрацией Cu^{2+} 10^{-4} (А) и 10^{-3} моль/л (Б) по данным различных методов, мг.

связывающих агентов приводила к снижению сорбции листьями ячменя: для глутатиона – в 1.4 раза, для тиосульфата натрия – в 2.5 раза соответственно по сравнению с контролем (рис. 2Б).

Содержание ионов меди в растворе, а также масса меди, связанной в растворе, после экспозиции листьев ячменя на растворах 10^{-4} и 10^{-3} моль/л были выше для варианта с добавкой тиосульфата натрия. Так, при 10^{-3} моль/л содержание в растворе меди возросло в 1.3 раза, причем доля связанной меди – в 1.7 раза по сравнению с контролем. Вероятно, это обусловлено процессами связывания экстрактивными веществами, в частности, тиосульфат-ионами, выделяемыми листьями растений. Для варианта с глутатионом содержание меди в растворе после опыта и масса связанной меди были несколько ниже, чем в контроле.

Таким образом, растения ячменя, выращенные на питательном растворе с добавкой глутатиона и тиосульфата натрия, несколько иначе, по сравнению с контролем, ведут себя в процессах сорбции/связывания Cu^{2+} из раствора. Для концентрации Cu^{2+} 10^{-3} М отмечали снижение сорбции листьями растений в варианте с глутатионом и тиосульфатом, для 10^{-4} М – некоторое усиление сорбции в варианте с глутатионом. Количество связанной меди в растворе было выше по сравнению с контролем в варианте с тиосульфатом и ниже – в варианте с глутатионом. Вместе с тем, на кинетику сорбции/связывания ионов меди листьями глутатион и тиосульфат натрия влияли не существенно.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.

ЛИТЕРАТУРА

ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 16 с.

Сборник методик выполнения измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта, методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА». – М.: НПП ООО «Эконикс-Эксперт», 2004. – 61 с.

Скугорева С.Г. Сравнительный анализ эффективности использования сорбентов различной природы по отношению к ионам меди (II) / С.Г. Скугорева, Г.Я. Кантор, Л.И. Домрачева, Т.И. Кутявина // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 3. – С. 12–18. doi: 10.25750/1995-4301-2018-3-012-018

Чертко И.К. Биологическая функция химических элементов / И.К. Чертко, А.В. Таранчук, Э.Н. Чертко, Д.А. Будько // Справочное пособие. – Минск: Изд-во «Четыре четверти», 2012. – 172 с.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ КАРОТИНОИДОВ В КЛЕТКАХ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLOROMONAS RETICULATA* (GOROSCHANKIN) GOBI

А.Н. Забоева¹, И.В. Новаковская², О.В. Дымова²

¹ Сыктывкарский государственный университет

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: a_zaboeva@mail.ru

В последние годы возрос интерес к каротиногенным микроводорослям. Это одноклеточные организмы, которые в неблагоприятных условиях (высокий свет, низкие температуры и др.) накапливают вторичные каротиноиды (ВКар), не участвующие в фотосинтезе и локализованные во внетилакоидных структурах. В качестве основных функций ВКар постулируются экранирование избыточной радиации и создание стока для избыточных фотоассимилятов (Lemoine, Schoefs, 2010), детоксикация активных форм кислорода (Boussiba, 2000). У ряда микроводорослей конечным продуктом биосинтеза ВКар является астаксантин (Аст) – красный пигмент из группы ксантофиллов. Аст обладает антиоксидантными свойствами, является компонентом биомедицинских препаратов, косметических средств, биологически активных добавок. Аст положительно влияет на человеческий организм: препятствует клеточному окислению, уменьшает воспаления, улучшает мышечный тонус и т.п.

На базе лаборатории геоботаники и сравнительной флористики ИБ Коми НЦ УрО РАН был проведен скрининг штаммов, способных накапливать Аст. Одним из перспективных выбран штамм *Chloromonas reticulata* (в коллекции обозначен как SYKOA Ch-054-11), вызывающий красное цветение снега (Novakovskaya et al., 2018). Снежный покров, где массово развивались эти водоросли, характеризовался слабокислой реакцией среды, низкими температурами (от -1 до -3 °C), наличием биогенных элементов (N, P, Ca, Mg и др.). В настоящее время штамм *C. reticulata* остается малоизученным, нет разработанных способов экстракции каротиноидов (Кар) и выделения Аст из него.

Цель работы – подобрать оптимальные условия фиксации и экстракции каротиноидов и изучить влияние высокой освещенности на их содержание в клетках *Chloromonas reticulata* при разных условиях выращивания.

Объектом исследования были клетки зеленой водоросли *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi. Клетки были выращены при разных условиях: I – на питательной среде 3NBVM ($\text{NaNO}_3:\text{CaCl}_2:2\text{H}_2\text{O}:\text{MgSO}_4:7\text{H}_2\text{O}:\text{K}_2\text{HPO}_4:3\text{H}_2\text{O}:\text{KH}_2\text{PO}_4:\text{NaCl}$; микроэлементы:

H₂O = 30:10:10:10:10:6:914) при pH=6.2; II – в дистиллированной воде при pH=5.5. Для выявления оптимального способа экстракции пигментов экстрагирование проводили несколько раз при варьировании условий (время нагревания, растирание суспензии, добавление Na₂SO₄ и CaCO₃) с разными растворителями – диметилсульфоксид (ДМСО), ДМСО:ацетон (2:1), ацетон.

В таблице представлены варианты экстракции пигментов из суспензии клеток водоросли, выращенных на среде (I) и в воде (II). Суспензии клеток центрифугировали в течение 5 мин. Супернатант удаляли. Клетки инкубировали в растворитель и нагревали при 70 °С в течение 5-15 мин. с периодичным перемешиванием каждые 5 мин., затем осадок удаляли путем центрифугирования. В полученных экстрактах анализировали индивидуальные Кар с использованием обращено-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии. Для обработки данных использовали программу EuroChrom. Кар идентифицировали по времени удержания стандартов.

В клетках *C. reticulata* в составе фотосинтетических Кар были обнаружены неоксантин, виолаксантин, антераксантин, лютеин, зеаксантин и β-каротин. Также был идентифицирован пик ВКар астаксантина.

Выявлено, что максимальное извлечение Кар (7.5 мкг/мл – на среде I; 4.5 мкг/мл – на воде II) из клеток суспензии водоросли было обнаружено в варианте экстракции 2 при использовании растворителя ДМСО, без процедур добавления Na₂SO₄ и CaCO₃ и последующего растирания. В результате оптимальным способом экстракции явилось использование растворителя ДМСО с нагреванием в течение 15 мин. без растирания. Именно этот способ экстракции применили в ходе дальнейшего эксперимента.

Варианты экстракции суспензии клеток водоросли *Chloromonas reticulata*

Вариант экстракции	1	2	3	4	5	6	7
Растворитель	ДМСО	ДМСО	ДМСО	ДМСО: ацетон (2:1)	ДМСО	ДМСО: ацетон (2:1)	Ацетон
Время нагревания, мин.	5	15	15	5	–	–	–
Количество экстракций	3	3	3	3	3	3	3
Добавление Na ₂ SO ₄ и CaCO ₃	–	–	+	–	+	+	+
Растирание	–	–	+	–	+	+	+

Примечание. ДМСО – диметилсульфоксид.

Для изучения влияния света высокой интенсивности на состав и содержание Кар клетки водоросли брали с экспоненциальной фазы роста (шестые сутки), помещали в чашку Петри и освещали под лампой POLAM LRW 400W при 500 мкмоль/(м²с) ФАР и температуре 10 °С. Максимальное извлечение Кар (11.3 мкг/мл) из клеток суспензии водоросли, выращенных на воде II при pH 5.5, наблюдали при использовании ДМСО с нагреванием 15 мин., без добавления Na₂SO₄ и CaCO₃ и процедуры растириания.

Наибольшая концентрация Кар (63.5 мкг/мл) и среди них ВКар – Аст (около 0.5% от суммы Кар) в клетках водоросли была получена при их культивировании на питательной среде. Это согласуется с данными (Boussiba, 2000) о повышении содержания Кар в клетках водорослей, выращенных на питательной среде при высокой освещенности. Нами показано, что высокий свет индуцировал синтез Аст.

В ходе исследования сделаны следующие выводы:

1. Оптимальными условиями для извлечения Кар из клеток *C. reticulata* являются использование экстрагента ДМСО; нагревание гомогената в течение 15 мин.; необходимость добавления Na₂SO₄ и CaCO₃ зависит от условий выращивания.

2. Освещение светом высокой интенсивности (500 мкмоль/(м²с) ФАР) клеток *C. reticulata*, выращенных на питательной среде, привело к накоплению каротиноидов и синтезу астаксантина.

Благодарим вед. инженера-химика О.А. Кузиванову за помощь в эксперименте.

Финансирование исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственных заданий Института биологии Коми НЦ УрО РАН (№ АААА-А17-117033010038-7 и № АААА- А19-119011790022-1) и Программы УрО РАН (№ АААА-А18-118012290132-0).

ЛИТЕРАТУРА

Boussiba S. Carotenogenesis in the green alga *Haematococcus pluvialis*: cellular physiology and stress response / S. Boussiba // *Physiologia Plantarum*. – 2000. – V. 108. – P. 111–117.

Lemoine Y. Secondary ketocarotenoid astaxanthin biosynthesis in algae: a multifunctional response to stress / Y. Lemoine, B. Schoefs // *Photosynthesis Research*. – 2010. – V. 106. – P. 155–177.

Novakovskaya I.V. Molecular phylogenetic analyses, ecology and morphological characteristics of *Chloromonas reticulata* (Goroschankin) Gobi which causes red blooming of snow in the Subpolar Urals / I.V. Novakovskaya, E.N. Patova, O.N. Boldina et al. // *Cryptogamie, Algologie*. – 2018. – V. 39. – P. 199–213.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК *SOLIDAGO CANADENSIS* L.

Е.А. Колдомова, Н.И. Науменко

Удмуртский государственный университет

E-mail: koldomovael@yandex.ru

Золотарник канадский (*Solidago canadensis* L.) является инвазионным видом во многих регионах России и за ее пределами (Виноградова и др., 2015). Вторгаясь, данный вид образует одновидовые заросли, занимающие большие площади. В основе его механизма захвата новых территорий могут лежать сложные и многообразные явления, имеющие временные и пространственные масштабы и различные уровни – от молекулярного до экологического. Не исключено, что трансформируясь, как и множество других видов-инвайдеров, этот вид может использовать биохимическое «оружие» – вещества, которые функционируют как необычайно мощное аллелопатическое средство. Данные вещества, выделяемые во внешнюю среду, оказывают влияние на близлежащие растения и природную биоту почвы таким образом, что неблагоприятно отражается на местных видах (Кондратьев, Ларикова, 2018). Для *S. canadensis* установлено, что водные вытяжки из листьев и корневищ могут оказывать влияние на рост и развитие проростков тест-культур (Прохоров, 2018). Также предполагают, что корни золотарника выделяют вещества, которые подавляют рост других растений (Горячкина и др., 2012).

Аллелопатическую активность определяли на семенах пшеницы (*Triticum* L.) по общепринятой методике биопроб (Гродзинский, 1965). Изучение влияния водных экстрактов на всхожесть и рост проростков тест-культур проводили с использованием 10%-ного водного экстракта из различных частей *S. canadensis*. Для получения вытяжек использовали листья, стебли, корни, соцветия данного растения, собранные осенью 2018 г. и высушенные до воздушно-сухого состояния. Вытяжки были получены путем часового настаивания сухого сырья с использованием горячей воды. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Проращивание семян осуществляли в условиях 16-часового фотопериода при +27 °С и относительной влажности воздуха 40–60%. Повторность четырехкратная.

В качестве критериев оценки влияния выделений *S. canadensis* использовали параметры энергии прорастания и всхожести семян. Данные показатели определяли на третий и седьмой день с момента начала прорастания, оценку полученных проростков производили согласно ГОСТ (ГОСТ 12038-84 Семена..., 2011).

Влияние аллелопатической активности водных вытяжек *Solidago canadensis* на прорастание семян пшеницы

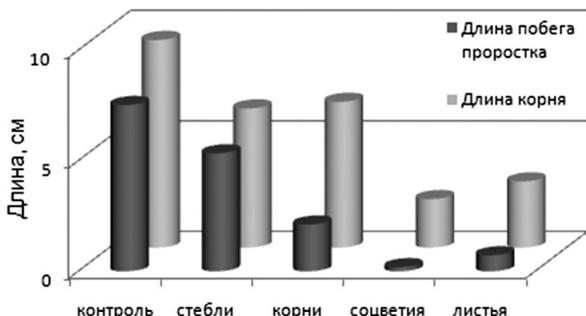
Исследуемые показатели	Контроль	Водные вытяжки			
		Стебли	Корни	Соцветия	Листья
Энергия прорастания, %	67.5±1.6	68.3±2.2	63.3±1.4	35.0±2.2	30.8±2.8
Всхожесть, %	80.0±3.0	79.2±1.9	77.5±2.1	80.0±2.4	73.3±1.1

В ходе исследования оказалось, что на прорастание семян пшеницы (*Triticum L.*) вытяжки из различных частей растений оказывают незначительное влияние. Так, показатели лабораторной энергии прорастания и всхожести во всех вариантах опыта по отношению к контролю имели небольшие расхождения, кроме вариантов, где использовались вытяжки из соцветий и листьев, вероятно, производившие ингибирование прорастания семян на ранних этапах. Но на седьмой день опыта в этих вариантах отмечается снятие данного эффекта. Задержка прорастания на ранних этапах развития в условиях межвидовой конкуренции становится фатальной.

Полученные результаты влияния водных вытяжек из различных частей растений *S. canadensis* на всхожесть семян пшеницы отражены в таблице.

Выделение физиологически активных веществ инвазионным видом обеспечивает успешное его внедрение и закрепление во вторичных местообитаниях путем подавления всхожести семян, роста и развития проростков совместно произрастающих с ним видов.

Ингибирующие свойства могут проявляться не только в снижении всхожести семян, но и в процессе роста и развития проростков. Полученные результаты влияния аллелопатических выделений *S. canadensis* на развитие проростков пшеницы представлены на рисунке. Вытяжки из органов исследуемого инвазионно-



Влияние водных вытяжек из различных частей растений *S. canadensis* на развитие проростков пшеницы.

го вида могут оказывать как незначительное, так и существенное ингибирующее действие на развитие проростков тест-объекта. Это свидетельствует о непосредственном влиянии аллелопатических свойств данного растения.

Таким образом, можно сделать предположение, что водные экстракты из различных частей инвазионного вида *S. canadensis* обладают ингибирующим воздействием на процесс прорастания семян и их развития. Успех в натурализации *S. canadensis* во вторичном ареале может быть обусловлен не только стратегией размножения, но и аллелопатическим потенциалом данного вида.

ЛИТЕРАТУРА

Виноградова Ю.К. Власк-лист инвазионных растений России / Ю.К. Виноградова и др. // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Материалы IV **Международ. конф. и отчетного заседания рабочей группы** проекта ПРООН-ГЭФ. – Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2015. – С. 68–72.

Горячкина Е.Г. Изучение состава полифенольных соединений золотарника даурского в сравнении с золотарниками канадским и обыкновенным / Е.Г. Горячкина, М.В. Буинов, Г.М. Федосеева // Вестник Бурятского государственного университета. – 2012. – С. 84–87.

ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М.: Стандартинформ, 2011. – 30 с.

Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ / А.М. Гродзинский. – Киев: Наукова думка, 1965. – С. 189–198.

Кондратьев М.Н. Роль аллелопатии в инвазии растительных видов (обзор) / М.Н. Кондратьев, Ю.С. Ларикина // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 2. – С. 48–61.

Прохоров В.Н. Влияние водных экстрактов из листьев и корневищ золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) на рост проростков тест-культур / В.Н. Прохоров, Н.А. Ламан, С.И. Росоленко, А.В. Бабков, М.М. Сак // Клеточная биология и биотехнология растений. – 2018. – С. 101.

ВЛИЯНИЕ УФ-В РАДИАЦИИ НА СИНТЕЗ И АКТИВНОСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ОКСИДАЗЫ В РАСТЕНИЯХ *ARABIDOPSIS THALIANA* С РАЗНЫМ УРОВНЕМ ЭКСПРЕССИИ *AOX1A*

М.В. Кырнышева¹, К.В. Ермолина², Е.В. Гармаш²

¹ Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: garmash@ib.komisc.ru

Дыхательная цепь растений в отличие от животных содержит два пути транспорта электронов – основной цитохромный (ЦП) и альтернативный (АП). ЦП является главным источником

АТФ – энергии, необходимой для всех процессов жизнедеятельности. Электронный транспорт по АП через альтернативную терминальную оксидазу (АОХ) не связан с двумя участками генерации мембранного потенциала, поэтому энергетически мало эффективен. Альтернативный путь дыхания играет важную роль в адаптации к изменяющимся условиям среды, непосредственно участвуя в поддержании окислительно-восстановительного баланса мЭТЦ и предотвращая образование супероксидадикала (Millenaar, Lambers, 2003).

Геном *Arabidopsis thaliana* содержит четыре гена *АОХ1(a-d)* и один *АОХ2*. Известно, что наиболее яркую экспрессию в ответ на различные виды стресса проявляет ген *АОХ1a* (Umbach et al., 2005).

Одним из самых сильных факторов окружающей среды является УФ радиация. УФ излучение в составе солнечного света, достигающее поверхности Земли, состоит из УФ-А (315–400 нм) и небольшой части УФ-В (280–315 нм) волн. Высокие дозы, особенно более коротковолновой УФ-В радиации, оказывают негативный эффект на все живые организмы. Растения реагируют на высокие дозы УФ-В радиации индукцией защитных механизмов (Tilbrook et al., 2013). Среди них альтернативное дыхание может играть важную роль.

Цель работы – изучить влияние повышенного уровня УФ-В радиации на активность и синтез белка АОХ у растений арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) с разным уровнем экспрессии *АОХ1a*.

В работе использовали три линии арабидопсиса (Umbach et al., 2005): Col-0 (растения дикого экотипа Columbia-0), линии XX-2 со сверхэкспрессией *АОХ1a* (растения, трансформированные конструкцией, экспрессирующей дополнительные копии *АОХ1a* в сенсовой ориентации под контролем промотора CaMV35S), линии AS-12 (растения, трансформированные конструкцией, экспрессирующей *АОХ1a* в антисенсовой ориентации под контролем промотора CaMV35S) (NASC, Великобритания).

В экспериментах часть четырехнедельных растений, выращенных в почвенной культуре (условия роста: освещенность – 100 мкмоль/м²с, фотопериод – 10 ч, температура – 23 °С), экспонировали к УФ-В облучению в суточной дозе 0.6 кДж/м² (0.26 Вт/м² за 40 мин.) в течение семи дней. Данная доза УФ-В соответствует половине уровня УФ-В радиации, получаемой растениями в ясный солнечный день. В работе изучали активность АП с помощью полярографического метода с использованием электрода Кларка (Hansatech Inst., Англия) и накопление белка АОХ методом

Вестерн-блоттинга (Garmash et al., 2017). Использовали первичные поликлональные антитела к АOX1/2 (Agrisera, Швеция), в качестве референсного – VDAC1 (Agrisera, Швеция). Визуализацию иммунореакции проводили с помощью хемилюминисцентного анализа.

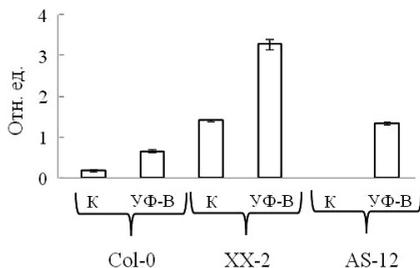
Воздействие УФ-В радиации вызвало увеличение интенсивности дыхания растений всех линий. Это свидетельствовало об активации обменных процессов в неблагоприятных условиях. Увеличение интенсивности дыхания листьев всех линий происходило за счет вовлечения АП, которое коррелировало с экспрессией *AOX1a*. Как и следовало ожидать, растения линии XX-2 со сверхэкспрессией *AOX1a* характеризовались наибольшей активацией АП. Вместе с тем, активацию АП при воздействии УФ наблюдали и в антисенсовой линии AS-12.

Анализ полученных Вестерн-блотов выявил наличие двух фракций. Основная фракция принадлежала белку АOX1 массой 34 кДа (см. рисунок). Вторую фракцию белка АOX1 с более низкой массой (около 30 кДа) детектировали во всех линиях арабидопсиса только при воздействии УФ-В.

Наиболее высокий уровень синтеза белка АOX1 34 кДа в листьях линии XX-2, особенно при избытке УФ-В, был явным результатом сверхэкспрессии *AOX1a*. Вторая фракция с низким сигналом скорее всего содержала изоформу АOX1D – продукт экспрессии гена *AOX1d* (Selinski et al., 2018). В современных работах подтвержден стресс-индуцируемый характер экспрессии *AOX1d* и этой изоформы белка (Selinski et al., 2018). В листьях антисенсовой линии арабидопсиса AS-12, экспонированных к воздействию УФ-В, белок АOX был также представлен двумя фракциями, но в меньшем количестве, чем в листьях линии XX-2. Верхняя фракция 34 кДа, по-видимому, была продуктом экспрессии *AOX1c*, нижняя – *AOX1d*. Синтез разных изоформ АOX1 в антисенсовой линии, как показали наши дальнейшие исследования, не компенсировал отсутствие АOX1A.

Таким образом, экспрессия *AOX1a* коррелировала с синтезом белка АOX. УФ-В облучение усиливало вовлечение АП

Содержание белка АOX1 34 кДа в линиях арабидопсиса в контроле (К) и при воздействии УФ-В.



как на уровне синтеза белка АОХ1 (34 кДа), так и его активности, особенно в линии ХХ-2. Воздействие УФ-В индуцировало во всех линиях арабидопсиса появление второй фракции белка АОХ1 с более низкой массой (около 30 кДа). Полученные данные свидетельствуют об участии АОХ при адаптации растений к УФ-В.

Работа поддержана проектом РФФИ № 19-04-00476-А. Семена арабидопсиса любезно предоставлены О.И. Грабельных и В.И. Тарасенко (СИ-ФИБР СО РАН, г. Иркутск).

ЛИТЕРАТУРА

Garmash E.V. Expression profiles of genes for mitochondrial respiratory energy-dissipating systems and antioxidant enzymes in wheat leaves during de-etiolation / E.V. Garmash, I.O. Velegzhaninov, O.I. Grabelnych et al. // *J. Plant Physiol.* – 2017. – V. 31 (215). – P. 110–121.

Millenaar F.F. The alternative oxidase: In vivo regulation and function / F.F. Millenaar, H. Lambers // *Plant Biol.* – 2003. – V. 5. – P. 2–15.

Selinski J. Alternative oxidase isoforms are differentially activated by tricarboxylic acid cycle intermediates / J. Selinski, A. Hartmann, G. Deckers-Hebestreit et al. // *Plant Physiol.* – 2018. – V. 176. – P. 1423–1432.

Tilbrook K. The UVR8 UV-B photoreceptor: perception, signaling and response / K. Tilbrook, A.B. Arongaus, M. Binkert et al. // *Arabidopsis Book. American Society of Plant Biologists.* – 2013. – V. 11. – P. e0164. doi: 10.1199/tab.0164

Umbach A.L. Characterization of transformed Arabidopsis with altered alternative oxidase levels and analysis of effects on reactive oxygen species in tissue / A.L. Umbach, F. Fiorani, J.N. Siedow // *Plant Physiol.* – 2005. – V. 139. P. 1806–1820.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОДЕГРАДИРУЕМОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПВХ С ДОБАВКАМИ БЕНТОНИТА И ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА

А.А. Лютова, В.С. Сибирцев, А.Ю. Маслова, Р.У. Кубанычбек
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики
E-mail: vs1969r@mail.ru

В связи с ростом производства и потребления человеческим обществом различной продукции утилизация отходов, и в особенности полимерных, стала в настоящее время одной из основных экологических проблем человечества. Одним из лучших способов решения этой проблемы признано создание и как можно более широкое использование материалов, способных достаточно быстро разлагаться в результате воздействия на них различных физических,

химических, биологических и иных факторов. Вследствие этого все более актуальной в настоящее время становится и проблема разработки доступных способов оценки устойчивости материалов к деградации, индуцируемой различными факторами, из которых микроорганизмы являются одними из наиболее действенных.

В связи с вышесказанным в качестве объекта исследования в настоящей работе были выбраны пленки толщиной 0.3 мм, изготовленные на основе поливинилхлорида (ПВХ) с добавлением различных количеств полигидроксibuтирата (ПГБ) и природного бентонита (БП). После этого была приготовлена инкубационная тестовая среда (ИТС), для чего в колбу вместимостью 1 л было залито 800 мл стерильной жидкой питательной среды (СЖПС) и 100 мл микробной закваски. При этом в качестве СЖПС использовался водный раствор с pH 7.2, содержащий 5 г/л глюкозы, 18 г/л белкового гидролизата и 2 г/л NaCl, в качестве микробной закваски – та же ЖПС, содержащая в 1 мл примерно 10^7 жизнеспособных клеток *Escherichia coli* ATCC 25922. Затем колба с ИТС инкубировалась в течение 12 ч при 37 ± 0.1 °C, после чего образец каждого из предназначенных для анализа материалов разрезался на 15 частей (пять из которых составили исходную выборку + пять – контрольную + пять – биоразлагаемую). Далее, каждая из частей тестируемых образцов (ТО), входящих в состав контрольной либо биоразлагаемой выборки, помещалась в отдельную пробирку и заливалась 3 мл СЖПС (в случае контрольной выборки) либо ИТС, приготовленной описанным выше способом (в случае биоразлагаемой выборки). После чего все пробирки закрывались пробками и инкубировались в течение девяти суток при 30 ± 0.1 °C, причем через каждые сутки такой инкубации в каждой из пробирок, содержащих ТО, производилась замена 40 об.% ИТС на СЖПС.

После окончания инкубации все образцы доставались из пробирок, промывались и высушивались. Затем у всех частей исследуемых образцов (включая исходные, не подвергавшиеся инкубации), а также у эталонного образца (в качестве которого был выбран 100% ПВХ) с помощью текстуромера «ТА.XTplus» производилось измерение прочности на прокалывание (σ , МПа). После этого для каждого из исследуемых материалов (ИМ) определялись следующие коэффициенты деструкции, обусловленной различными факторами: $K_{TD} = 100(\sigma_B - \sigma_R) / \sigma_R$ – коэффициент общей деструкции ТО; $K_{MD} = 100(\sigma_I - \sigma_R) / \sigma_R$ – коэффициент деструкции, обусловленной различными механическими воздействиями на ТО; $K_{CD} = 100(\sigma_C - \sigma_I) / \sigma_I$ – коэффициент деструкции, обусловленной взаимодействием ТО с водой и другими химическими компонентами и $K_{BD} = 100(\sigma_B - \sigma_C) / \sigma_C$ – коэффициент деструкции, обусловленной

**Прочность на прокалывание и коэффициенты деградации
тестируемых материалов в различных условиях**

Состав образца	Прочность образцов (σ , МПа)			K_{MD} , %	K_{BD} , %	K_{CD} , %	K_{TD} , %
	Исходная (σ_i)	Контрольная (σ_c)	Биоразлагаемая (σ_b)				
100% ПВХ	13.5±0.6	13.5±0.6	13.1±0.6	0	-4	0	-4
5 масс.% ПГБ	9.8±0.5	9.7±0.5	9.0±0.5	-27	-7	-1	-33
15 масс.% ПГБ	6.7±0.6	6.5±0.4	4.9±0.6	-50	-25	-3	-64
30 масс.% ПГБ	6.5±0.6	6.2±0.5	3.8±0.6	-52	-39	-5	-72
5 масс.% ПБ	5.7±0.3	5.5±0.4	6.4±0.5	-58	+16	-3	-53
10 масс.% ПБ	5.1±0.3	4.9±0.4	5.9±0.5	-62	+20	-4	-56
15 масс.% ПБ	4.2±0.3	4.0±0.5	4.9±0.5	-69	+23	-5	-64

взаимодействием ТО с тестовыми микроорганизмами, где σ_i , σ_c и σ_b – средняя по выборке прочность на прокалывание исходных, контрольных и биоразлагаемых образцов тестируемого материала, σ_R – средняя по выборке прочность на прокалывание эталонного материала, не подвергавшегося инкубации.

Результаты измерений и расчетов, проведенных описанным выше способом, приведены в таблице.

Приведенные в таблице данные подтверждают следующие закономерности: 1) все использовавшиеся добавки существенно уменьшали механическую прочность ИМ относительно чистого ПВХ (см. K_{MD}), причем происходило это в тем большей мере, чем в большем количестве эти добавки содержались в ИМ; а также в большей мере в присутствии ПБ, чем в присутствии ПГБ; 2) устойчивость к действию влаги у всех ИМ, наоборот, была весьма высокой (см. K_{CD}) и мало зависела от вида и количества веществ, добавляемых к ПВХ. В то же время эффективность биodeградации ИМ при добавке к ним ПГБ увеличивалась достаточно значительно, причем в тем большей мере, чем больше ПГБ содержалось в ИМ (см. K_{BD}), тогда как добавление бентонита, наоборот, достаточно существенно уменьшало биodeградируемость содержащих ПБ материалов (причем в тем большей мере, чем больше бентонита там содержалось); 3) основным фактором, определяющим общую деградируемость ИМ (см. K_{TD}), во всех случаях являлась их устойчивость к механическим нагрузкам (см. K_{MD}).

ВОВЛЕЧЕННОСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЦИАНИД-РЕЗИСТЕНТНОЙ ОКСИДАЗЫ В УСТОЙЧИВОСТЬ ПШЕНИЦЫ К ТЕМПЕРАТУРНЫМ СТРЕССАМ

Е.А. Полякова^{1,2}, О.А Боровик¹, О.И. Грабельных¹

¹ Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН

² Иркутский государственный университет

E-mail: ol.borovik@mail.ru; polyackova.elizaveta727@yandex.ru

Помимо основного цитохромного пути дыхания, который включает четыре комплекса дыхательной цепи митохондрий: НАДН: убихинон-оксидоредуктазу (комплекс I), сукцинат: убихинон-оксидоредуктазу (комплекс II), убихинол: цитохром *c* оксидоредуктазу (комплекс III) и цитохром *c* оксидазу (комплекс IV), в растениях и некоторых других организмах существуют так называемые альтернативные пути дыхания, представленные такими альтернативными ферментами, как альтернативная цианид-резистентная оксидаза (АОХ) и альтернативными «внутренними» (NDA, NDC) и «внешними» (NDB) ротенон-нечувствительными НАД(Ф)Н-дегидрогеназами. Транспорт электронов по цитохромному пути через комплексы I, III, IV сопряжен с переносом протонов в межмембранное пространство митохондрий, в результате чего происходит образование протонного градиента и синтезируется АТФ. В то же время альтернативные ферменты не вносят вклад в образование протонного градиента. Несмотря на это, активация альтернативных ферментов дыхания играет важную роль в поддержании баланса АТФ/НАД(Ф)Н и окислительно-восстановительного баланса клетки. Предполагается, что активация альтернативных ферментов дыхания может способствовать повышению устойчивости растений к различным стрессам. Так, АОХ называют «белком выживания», так как активация экспрессии ее генов происходит под действием ряда стрессоров биотической и абиотической природы. В то же время функционирование АОХ при высоких температурах недостаточно изучено, а при низких температурах имеется ряд противоречивых данных. В литературе очень мало данных о влиянии повышенных температур и теплового стресса на содержание АОХ, NDA, NDB, в то время как в условиях пониженных температур мы видим больше информации о АОХ, NDA, NDB, но зачастую это противоречивые данные. Кроме того, функциональная значимость данных белков при температурных стрессах до сих пор не выяснена.

Цель работы – провести сравнительный анализ содержания белков АОХ, NDB, NDA в яровой и озимой пшенице в ответ на

низкие и высокие температуры и оценить их вовлеченность в устойчивость пшеницы к тепловому и холодovому стрессу.

В работе использовали два сорта пшеницы *Triticum aestivum* L. – яровая «Новосибирская 29» и озимая «Иркутская». Проростки выращивали на растворе S Кюпа при $23/20 \pm 0.1$ °C (16 ч фотопериод), освещенности $250 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ фотосинтетической активной радиации и относительной влажности 70% в камере KBW 720 («Binder», Германия). Растения использовали в стадии развития второго листа. Все исследования проводились на средней части (сегмент длиной 7-8 см) листовой пластины. Тепловую обработку растений яровой пшеницы проводили при 39 °C в течение 3 и 24 ч при освещении $200 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$. Тепловой стресс проводили на свету при 50 °C в течение 1 и 3 ч. Температура 39 °C в течение 24 ч приводила к развитию термотолерантности яровой пшеницы. Холодовую обработку озимой пшеницы проводили при 7 °C в течение трех и семи суток. Длительное воздействие 7 °C приводило к эффективному закаливанию пшеницы. Холодовой стресс осуществляли в течение 1 и 3 ч при -7 °C. Выживаемость проростков оценивали по выходу электролитов из клеток листьев в воду с использованием кондуктометра HI 8734 («Hanna Instruments Inc.», Румыния). Общий и митохондриальный белок разделяли электрофоретически в 12.5%-ном полиакриламидном геле с додецилсульфатом натрия и переносили на нитроцеллюлозную мембрану («GE Healthcare», Германия). Для анализа митохондриальных белков в работе использовали очищенные в градиенте перколла митохондрии. В работе были использованы следующие первичные антитела: HSP16.9 (AS12 2570, «Agrisera», Швеция), HSP101 (AS07 253, «Agrisera», Швеция), HSP70/Hsc70 (SPA-820, «StressGen», Канада), HSP60 (H1830-77B, «US Biological», США), AOX 1/2 (AS04 054, «Agrisera», Швеция), Actin (AS13 2640, «Agrisera», Швеция), COX II (AS04 052, «Agrisera», Швеция), NDA, NDB (любезно предоставлены проф. Рассмусоном, Швеция), Porin (любезно предоставлены проф. Элтоном, США) и вторичные антитела, конъюгированные со щелочной фосфатазой, от Agrisera. Содержание белка оценивали на флуориметре Qubit 4.0 с использованием кита Qubit Protein Assay («Invitrogen-ThermoFisher», USA).

Температурные обработки, подобранные нами, приводили к формированию устойчивости у яровой и озимой пшеницы к температурному стрессу. Устойчивые растения характеризовались увеличением содержания белков теплового шока в листьях яровой пшеницы и накоплением дегидринов в листьях озимой пшеницы. Наибольший интерес вызвала ответная реакция AOX на тепловые и холодovые обработки растений и отклик AOX в устойчивых рас-

тениях. Изучение содержания белка АОХ проводилось как в общем белке, так и в очищенных из листьев митохондриях. Белок АОХ в листьях яровой пшеницы представлен четырьмя активными изоформами с молекулярными массами около 30, 32, 34 и 37 кДа, в то время как в листьях озимой пшеницы одним выраженным полипептидом 34 кДа и двумя слабо выраженными – около 32 и 37 кДа. У яровой пшеницы тепловая обработка 39 °С в течение 3 ч увеличивала синтез полипептида АОХ 37 кДа, а более длительная обработка в течение 24 ч индуцировала синтез новых полипептидов АОХ с молекулярными массами 30 и 32 кДа. Такое увеличение продолжалось после воздействия теплового стресса на предварительно обработанные проростки. У озимой пшеницы только длительное воздействие (7 суток) пониженной температуры 7 °С индуцировало синтез полипептида АОХ с молекулярной массой 34 кДа, содержание которого было таким же высоким после действия на закаленные растения холодового стресса. Мы не наблюдали изменения содержания белка АОХ при действии теплового и холодового стресса на контрольные растения. В очищенных митохондриях мы видим сходный спектр изоформ белка АОХ. Отмечено увеличение содержания изоформ АОХ с молекулярными массами 30 и 32 кДа при действии 39 °С в течение 24 ч и последующем тепловом стрессе. У озимой пшеницы отмечено незначительное увеличение АОХ с молекулярной массой 34 кДа при холодовом закаливании и при последующем холодовом стрессе. Высокими температурами активируются изоформы с молекулярными массами 30, 32, 37 кДа, в то время как низкими – только одна изоформа АОХ с молекулярной массой 34 кДа. При длительном тепловом воздействии 39 °С в течение 24 ч и последующем тепловом стрессе отмечена индукция полипептидов NDA и NDB. Незначительное увеличение NDB наблюдали при стрессировании закаленных растений озимой пшеницы, в то время как содержание NDA в митохондриях не изменялось. Было заключено, что альтернативные ферменты дыхания играют важную роль в адаптации пшеницы к высоким и низким температурам, но вклад альтернативной оксидазы и ротенон-нечувствительных НАД(Ф) Н-дегидрогеназ выше в листьях яровой пшеницы при тепловом воздействии. В дальнейшем предстоит выяснить механизм активации и функциональную роль альтернативных ферментов дыхания в листьях яровой и озимой пшеницы в изучаемых условиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФ № 17-74-10096.

СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ ЯЧМЕНЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ПИТАТЕЛЬНОМ РАСТВОРЕ С ДОБАВКОЙ СУЛЬФАТА МЕДИ (II)

А.Э. Русских¹, И.С. Солодянкина¹, А.В. Жукова¹, С.Г. Скугорева^{1, 2}

¹ Вятский государственный университет

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: mashkc98@mail.ru

Медь играет активную роль в метаболических процессах, однако в избыточных дозах ее соединения могут быть токсичны для растений. Химический состав растений может изменяться без появления явно видимых повреждений. Обычные симптомы фитотоксичности многих микроэлементов относительно неспецифичны (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Важнейшим компонентом фотосинтетического аппарата растений является система пигментов, включающая хлорофиллы *a*, *b* и каротиноиды. Хлорофиллы играют ключевую роль в процессе фотосинтеза, каротиноиды наряду с участием в поглощении света выполняют антиоксидантную функцию.

Цель работы – исследовать содержание меди и фотосинтетических пигментов в растениях ячменя при выращивании на питательном растворе с добавкой сульфата меди (II) в концентрациях 10 и 20 ПДК Cu^{2+} для воды.

В качестве объекта исследования были выбраны растения ярового ячменя сорта Новичок. Семена ячменя проращивали в чашках Петри в термостате при 25 °С. На пятый день проростки переносили на питательный раствор Кнопа. В каждый сосуд высаживали по 24 проростка. Сосуды с проростками помещали в контролируемые условия климатической камеры при дневном режиме +22 °С и ночном режиме +13 °С. В раствор с 15-суточными растениями делали добавку сульфата меди (II) в концентрации 10 и 20 мг/дм³, что соответствовало 10 и 20 ПДК Cu^{2+} для воды (ГН 2.1.7.2041-06). Контролем служил вариант без внесения соли меди (дистиллированная вода). Через четверо суток растения извлекали из растворов и проводили их химический анализ.

Для анализа накопления меди использовали корни и второй лист восьми растений. Растения высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 60 °С. Проводили озоление проб в муфельной печи по ГОСТ 26929-94. Из полученной золы готовили вытяжку, содержание меди в вытяжке определяли методом инверсионной вольтамперометрии (Сборник методик..., 2004).

Количественное определение пигментов проводили в средней части второго листа растений спектрофотометрическим методом.

Измерение оптической плотности проводили на спектрофотометре при длинах волн 662 (хлорофилл *a*), 644 (хлорофилл *b*) и 470 нм (каротиноиды) в кювете с толщиной слоя 1 см (Шлык, 1971).

В ходе исследования были получены данные, представленные в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 видно, что содержание меди в корнях ячменя в вариантах опыта 10 и 20 ПДК Cu^{2+} примерно одинаково и было выше контроля в 2.4–2.7 раза. Накопление меди в листьях растений в вариантах 10 и 20 ПДК Cu^{2+} также мало различалось между собой, превышая значения контроля в 2.2–3.0 раза. Во всех вариантах отмечали преимущественное накопление элемента в корнях растений.

Перемещение Cu между различными частями растения играет главную роль в ее утилизации. Ткани корня способны удерживать Cu от переноса в побеги как в условиях ее дефицита, так и избытка. В корнях Cu связана в основном с клеточными стенками и крайне малоподвижна (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

По данным табл. 2 можно сказать, что с ростом концентрации меди в питательном растворе наблюдается некоторая тенденция к увеличению содержания пигментов в листьях ячменя как в расчете на сырую, так и на сухую массу растений. Высокая корреляционная связь установлена между содержанием хлорофилла *a* и накоплением меди в корнях растений ($r = 0.903$), а также между содержанием каротиноидов и накоплением меди в корнях ($r = 0.999$) и листьях ($r = 0.886$) растений.

Таблица 1

Содержание меди в растениях ячменя, мг/кг

Контроль		10 ПДК Cu^{2+}		20 ПДК Cu^{2+}	
Корни	Листья	Корни	Листья	Корни	Листья
9.0±3.4	6.3±2.4	22±8	19±7	24±9	14±5

Таблица 2

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях ячменя, мг/г

Показатель	Контроль	10 ПДК Cu^{2+}	20 ПДК Cu^{2+}
Расчет на сырую массу			
Хлорофилл <i>a</i>	0.62±0.06	0.68±0.07	0.75±0.08
Хлорофилл <i>b</i>	0.59±0.10	0.58±0.07	0.62±0.06
Каротиноиды	0.081±0.012	0.112±0.008	0.115±0.012
Расчет на сухую массу			
Хлорофилл <i>a</i>	6.8±0.7	7.3±0.6	8.2±0.9
Хлорофилл <i>b</i>	6.5±1.0	6.2±0.6	6.7±0.6
Каротиноиды	0.89±0.13	1.22±0.08	1.25±0.14

По результатам проведенной работы можно сделать вывод, что добавка в питательный раствор сульфата меди в концентрациях, соответствующих 10 и 20 ПДК ионов меди, приводит к увеличению накопления меди в растениях ячменя и незначительному увеличению содержания фотосинтетических пигментов в листьях. Установлена высокая корреляция между содержанием хлорофилла *a*, каротиноидов и накоплением меди в корнях растений. Таким образом, выбранные концентрации Cu^{2+} не токсичны для растений ячменя, так как под их влиянием происходит увеличение содержания фотосинтетических пигментов в листьях.

ЛИТЕРАТУРА

- ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. – М., 2006. – 7 с.
- ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. – М., 1996. – 16 с.
- Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М., 1989. – 439 с.
- Сборник методик выполнения измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА». – М., 2004. – 61 с.
- Шлык А.А. Биохимические методы в физиологии растений / А.А. Шлык. – М., 1971. – С. 154–171.

АКТИВНОСТЬ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ И СОДЕРЖАНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В ЛИСТЯХ РАСТЕНИЙ *HYLOTELEPHIUM TRIPHYLLUM* (HAW.) СЕМЕЙСТВА *CRASSULACEAE*

Е.В. Силина, К.В. Ермолина, О.А. Кузиванова
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН
E-mail: silina@ib.komisc.ru

Растения непрерывно адаптируются к постоянно изменяющимся факторам среды. В этих условиях особое значение приобретает способность растений сохранять функциональную целостность фотосинтетического аппарата (ФСА). Важную роль в защите ФСА играет антиоксидантная система, контролирующая в клетках уровень накопления активных форм кислорода (АФК) (Mitler, 2002). Супероксиддисмутаза (СОД) – ключевой фермент антиоксидантной защиты. СОД существенно ускоряет реакцию дисмутации супероксид анион-радикала (O_2^-) с образованием перокси-

да водорода (H_2O_2) и воды. Имеется большой массив работ, свидетельствующих о разнонаправленности изменений уровня активности СОД под влиянием внешних факторов (Бараненко, 2006; Gill et al., 2015). Однако сведения о функционировании СОД в листьях растений, обитающих в условиях холодного климата, немногочисленны.

Цель работы – изучить активность СОД, оценить уровень липопреоксидации и определить содержание H_2O_2 в листьях *Hylotelephium triphyllum* в период генеративного развития растений.

Hylotelephium triphyllum – многолетнее травянистое растение сем. Crassulaceae. Благодаря пластичности ФСА по отношению к освещенности и накоплению антоцианов в эпидерме листьев растения *H. triphyllum* способны произрастать в местообитаниях с разным световым режимом. Способность индуцировать САМ-тип метаболизма и поддерживать высокую оводненность клеток мезофилла позволяет этим растениям переносить высокие температуры воздуха и водный дефицит (Головки и др., 2007; Шелякин и др., 2017).

Растения *H. triphyllum* росли на пойменной террасе долины нижнего течения р. Вымь в окрестностях Ляльского лесозоологического стационара Института биологии Коми НЦ УрО РАН (62°16' с.ш., 50°39' в.д.). Образцы отбирали в фазу бутонизации (начало июля) и в период цветения (конец июля), использовали листья среднего яруса, отдельно зеленой и красной (антоциановой) окраски. Отбор проб осуществляли в течение суток. Образцы фиксировали в жидком азоте и хранили их при температуре –70 °С. Исследования проводили в 2018 г. Летний период 2018 г. был сравнительно теплым и сухим. Максимальная температура воздуха достигала в начале июля (фаза бутонизации) 25 °С, в конце июля (фаза цветения) – 30 °С, максимальную освещенность растений (1200-1500 мкмоль квантов/м²с) отмечали в полуденное время. Относительная влажность воздуха в течение суток колебалась от 30 до 80%.

Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) определяли по накоплению в тканях листьев продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-РП) (Stewart, Bewley, 1980). Активность СОД определяли согласно (Beauchamp, Fridovich, 1973), содержание H_2O_2 измеряли по Bellincampi et al. (2000). Все определения выполнены в трех-четырёхкратной биологической и трехкратной аналитической повторности. В таблицах представлены средние арифметические значения со стандартной ошибкой.

Повышенное содержание ТБК-РП является одним из показателей нарушения про-/антиоксидантного равновесия клеток при

неблагоприятных условиях среды. Судя по содержанию ТБК-РП, в фазу бутонизации интенсивность липопероксидации была достоверно выше в утренние и вечерние часы (табл. 1). В фазу массового цветения растений липопероксидация в зеленых листьях сохранялась на одном уровне, в красных листьях наблюдали снижение содержания продуктов ПОЛ в дневное время. Следует отметить, что активность процессов липопероксидации в красных листьях была значительно выше, что, возможно, связано со старением листа.

H_2O_2 является наиболее стабильной формой активированного кислорода. H_2O_2 в небольших концентрациях выполняет сигнальную функцию в клетке. Накопление H_2O_2 может приводить к повреждению макромолекул (Sies, 2017). Согласно нашим данным, суточная динамика содержания H_2O_2 в листьях *H. triphyllum* была выражена довольно слабо (табл. 1). Наблюдалась тенденция к увеличению количества H_2O_2 в вечерние часы. Уровень активности СОД в листьях растений *H. triphyllum* в течение суток изменялся незначительно (табл. 1): активность СОД в зеленых листьях снижалась на 10–12% в вечерние часы, в красных листьях, наоборот, возрастала на 20–25%. Статистический анализ данных показал, что среднесуточное содержание H_2O_2 в зеленых листьях в фазу бутонизации достоверно ниже, чем в фазу цветения (табл. 2). Средняя за сутки активность СОД зеленых листьев была выше в фазу цветения. По сравнению с зелеными, листья с антоциановой окраской отличались более высоким накоплением H_2O_2 и повышенным уровнем активности СОД.

Таблица 1

Суточная динамика активности супероксиддисмутазы, липопероксидации и содержания пероксида водорода в листьях *H. triphyllum*

Фаза	Лист	Время суток, ч	ТБК-РП, нмоль/г сырой массы	H_2O_2 , мкмоль/г сырой массы	СОД, ед./г сырой массы
Бутонизация	Зеленый	6	40.0 ± 0.6	6.5 ± 0.1	59.5 ± 1.3
		12	17.3 ± 0.8	6.1 ± 0.1	62.5 ± 2.4
		21	44.5 ± 0.6	7.4 ± 0.1	49.6 ± 1.9
Цветение	Зеленый	6	26.7 ± 3.2	8.0 ± 0.1	48.8 ± 4.1
		12	30.6 ± 1.1	7.9 ± 0.1	54.3 ± 2.9
		21	27.4 ± 0.8	7.9 ± 0.1	51.7 ± 2.1
	Красный	6	67.4 ± 0.7	13.9 ± 0.1	49.4 ± 2.8
		12	53.3 ± 1.1	10.3 ± 0.1	64.3 ± 2.1
		21	72.1 ± 1.1	12.4 ± 0.1	78.5 ± 2.5

Таблица 2

**Среднесуточное содержание пероксида водорода
и активность супероксиддисмутазы в листьях *H. triphyllum***

Фаза	Лист	СОД, ед./мг сырой массы	H ₂ O ₂ , мкмоль/г сырой массы
Бутонизация	Зеленый	56.5 ± 1.3 ^a	6.3 ± 0.2 ^a
Цветение	Зеленый	51.1 ± 1.3 ^b	8.0 ± 0.2 ^b
Цветение	Красный	62.8 ± 2.4 ^c	12.1 ± 0.4 ^c

Примечание. Разные надстрочные символы обозначают статистическую значимость различий при P ≤ 0.05.

Таким образом, высокая активность СОД в течение всего фотопериода предотвращает накопление O₂⁻, являющегося наиболее агрессивной формой АФК, и способствует поддержанию про-/антиоксидантного баланса в листьях. Это позволяет растениям *H. triphyllum*, обитающим на хорошо прогреваемой плохо удерживающей влагу почве, обеспечить сохранность ФСА и успешно реализовать жизненную программу. Повышение уровня липопероксидации и содержания H₂O₂ в листьях с сильно выраженной красной окраской, свидетельствующей о накоплении антоцианов, связано, вероятно, с их функциональным состоянием и особенностями метаболизма.

ЛИТЕРАТУРА

Головки Т.К. Толстянковые в холодном климате (биология, экология, физиология) / Т.К. Головки, И.В. Далькэ, Д.С. Бачаров и др. – СПб.: Наука, 2007. – 205 с.

Бараненко В.В. Супероксиддисмутаза в клетках растений / В.В. Бараненко // Цитология. – 2006. – Т. 48. – С. 465–473.

Шелякин М.А. Содержание антоцианов, активность антиоксидантной и энергодиссипирующих систем в листьях *H. triphyllum* (Нав.) Нолуб – представителя семейства Толстянковые на Севере / М.А. Шелякин, И.Г. Захожий, Г.Н. Табаленкова и др. // Молекулярные аспекты редокс-метаболизма растений: Материалы II международного симпозиума «Роль АФК в жизни растений». – 2017. – С. 432–435.

Beauchamp C. Isozymes of superoxidisedismutase from wheat germ / C. Beauchamp, I. Fridovich // Biochim. Biophys. Acta. – 1973. – V. 317. – P. 50–64.

Bellincampi D. Extracellular H₂O₂ induced by oligogalacturonides is not involved in the inhibition of the auxin-regulated rolB gene expression in tobacco leaf explants / D. Bellincampi, N. Dipierro, G. Salvi, F. Cervone // Plant Physiology. – 2000. – V. 122. – P. 1379–1385.

Gill S. Superoxide dismutase—mentor of abiotic stress tolerance in crop plants / S. Gill, A. Anjum, R. Gill et al. // Environ Sci Pollut Res. – 2015. – V. 22. – P. 10375–10394.

Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance / R. Mittler // *Trend Plant Sci.* – 2002. – V. 7. – P. 405–410.

Sies H. Hydrogen peroxide as a central redox signaling molecule in physiological oxidative stress: Oxidative eustress / H. Sies // *Redox Biology.* – 2017. – V. 11. – P. 613–619.

Stewart R. Lipid Peroxidation Associated with Accelerated Aging of Soybean Axes / R. Stewart, D. Bewley // *Plant Physiol.* – 1980. – V. 65. – P. 245–248.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ АСКОРБАТ-ГЛУТАТИОНОВОГО ЦИКЛА ПРИ ДЕЭТИОЛЯЦИИ ЛИСТА ПШЕНИЦЫ

Е.В. Силина, О.А. Кузиванова, К.В. Ермолина, Е.В. Гармаш

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: silina@ib.komisc.ru

Растения как прикрепленные организмы развили в процессе эволюции разные биохимические механизмы адаптации к изменяющимся условиям среды. Среди них важную роль играет аскорбат-глутатионовый цикл (АГЦ) – метаболический путь детоксификации пероксида водорода (H_2O_2), функционирующий в цитозоле, митохондриях, пластидах и пероксисомах (Foyer, Noctor, 2011). В цикле участвуют аскорбат (Asc), глутатион (GSH), НАД(Ф)Н и ферменты, связывающие эти метаболиты. Оба метаболита – мощные низкомолекулярные антиоксиданты, участники редокс-сигналинга и разных биосинтетических путей.

Деэтиоляция – это светоиндуцируемый процесс формирования пластид и тилакоидной системы хлоропластов. Ранее было показано, что деэтиоляция листа пшеницы сопровождается активацией дыхательных и антиоксидантных систем для предотвращения фотоингибирования вследствие неполного развития фотосинтетического аппарата (ФСА) (Garmash et al., 2017).

Цель работы – исследовать изменение общего пула Asc и GSH, окислительно-восстановительного состояния этих метаболитов и активности ферментов АГЦ в процессе деэтиоляции листа яровой пшеницы *Triticum aestivum* L.

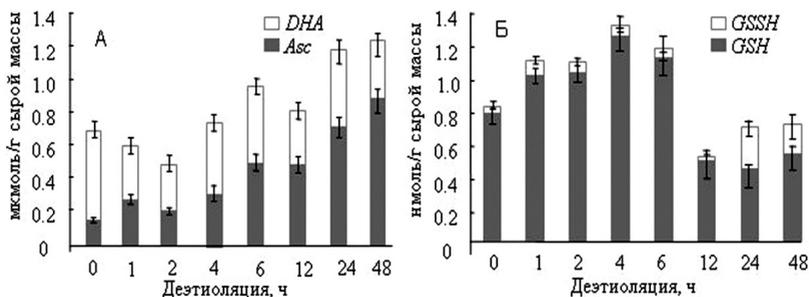
Объектом служили пятисуточные этиолированные проростки яровой пшеницы сорта Иргина, которые подвергали действию непрерывного света интенсивностью $190 \text{ мкмоль/м}^2\text{с}$ в течение 48 ч. Определения содержания Asc, GSH, активности ферментов АГЦ проведены с использованием спектрофотометрического метода. Для определения окисленной и восстановленной формы Asc и GSH использовали величину поглощения при соответствующей

длине волны (Kampfenkel et al., 1995; Queval, Noctor, 2007). Для определения активности ферментов измеряли кинетику изменения поглощения субстрата при данной длине волны согласно имеющимся методикам с нашими модификациями (Nakano, Asada, 1981; Hossain, Asada, 1984; Foyer, Holliwel, 1976). Содержание растворимого белка анализировали по методу Bradford (1976).

Синтез Asc связан со светозависимой индукцией экспрессии генов ферментов, участвующих в его синтезе. В наших экспериментах этиолированные проростки характеризовались наименьшим пулом восстановленного Asc (см. рисунок). В процессе деэтиоляции пул общего и восстановленного Asc возрастал. Очевидно, что изменения пула и соотношения разных форм этого метаболита зависели от функционирования ферментов АГЦ.

Активность аскорбатпероксидазы (АПО) увеличилась сразу после экспозиции этиолированных проростков к свету, что свидетельствовало о свето- и субстратзависимой активации фермента (см. таблицу). Далее активность АПО снизилась и оставалась стабильной. Пополнению пула восстановленного Asc в этот период, по-видимому, способствовала активация дегидроаскорбатредуктазы (ДГАР) и глутатионредуктазы (ГР). Активность обоих ферментов увеличивалась к шестичасовому периоду зеления после некоторого снижения в первые часы (см. таблицу).

После 24 ч активность ферментов АГЦ снижалась, что было связано с формированием функционально-компетентного ФСА и систем его фотозащиты. Однако несмотря на снижение активности ферментов АГЦ, пул восстановленной формы Asc продолжал увеличиваться до конца эксперимента. Это свидетельствовало о том, что регенерация Asc в АГЦ – не единственный путь пополнения его пула. Высокий уровень Asc в зрелой фотосинтезирующей



Изменения в содержании окисленного и восстановленного пула аскорбата (А) и глутатиона (Б) в процессе деэтиоляции листа яровой пшеницы *Triticum aestivum* L.

**Активность ферментов АГЦ
в процессе деэтиоляции листа яровой пшеницы *Triticum aestivum* L.**

Деэтиоляция, ч	АПО, мкмоль Asc/мг белка мин.	ДГАР, мкмоль ДГА/мг белка мин.	ГР, мкмоль НАД(Ф)Н/мг белка мин.
0	1.98 ± 0.07	0.087 ± 0.002	0.180 ± 0.004
1	2.68 ± 0.08	0.094 ± 0.003	0.197 ± 0.004
2	2.15 ± 0.05	0.062 ± 0.001	0.175 ± 0.004
4	1.90 ± 0.04	0.059 ± 0.002	0.164 ± 0.003
6	2.07 ± 0.01	0.075 ± 0.001	0.168 ± 0.002
12	2.10 ± 0.22	Не определяли	0.200 ± 0.004
24	2.11 ± 0.03	0.77 ± 0.003	0.200 ± 0.002
36	1.20 ± 0.14	Не определяли	0.150 ± 0.002
48	1.20 ± 0.02	0.048 ± 0.001	0.165 ± 0.003

ткани согласуется с представлениями о роли этого метаболита в защите ФСА от фотодеструкции (Foyer, Noctor, 2011).

Пул GSH в течение первых шести часов деэтиоляции возрастал и был представлен преимущественно его восстановленной формой (см. рисунок). Это согласуется с представлениями о том, что клетка в условиях стабильного про-/антиоксидантного баланса характеризуется высоким относительным содержанием восстановленного GSH.

Однако после 24 ч деэтиоляции пул и относительное содержание GSH существенно снизилось на фоне уменьшения активности ГР. При этом содержание H_2O_2 несколько уменьшилось к этому периоду. Этому способствовала активация каталазы (КАТ), которая более эффективна при высоком уровне H_2O_2 , чем другие системы ее детоксификации (Garmash et al., 2017). Эти результаты косвенно указывают на роль GSH в передаче сигнала для регуляции и координации функционирования ГР и КАТ в клетке.

Таким образом, высокая активность ферментов АГЦ на начальных этапах деэтиоляции способствовала поддержанию оптимальных условий для формирования ФСА. Высокой активности ферментов соответствовал повышенный уровень восстановленных форм Asc и GSH. Данные также свидетельствуют о том, что регенерация Asc в АГЦ за счет окисления GSH – не единственный путь пополнения его пула.

Работа поддержана проектом РФФИ № 19-04-00476-А.

ЛИТЕРАТУРА

Bradford M.A. Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein – Dye Binding / M.A. Bradford // Anal. Biochem. – 1976. – V. 72. – P. 248–254.

Foyer C. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism / C. Foyer, B. Holliwell // *Planta*. – 1976. – V. 13. – P. 21–25.

Foyer C. Ascorbate and glutathione: The heart of the redox hub1 / C. Foyer, G. Noctor // *Plant Physiology*. – 2011. – V. 155. – P. 2–18.

Garmash E. Expression profiles of genes for mitochondrial respiratory energy-dissipating systems and antioxidant enzymes in wheat leaves during de-etiolation / E. Garmash, O. Velegzhaninov, O. Grabelnych et al. // *Journal of Plant Physiology*. – 2017. – V. 215. – P. 110–121.

Hossain M. Purification of Dehydroascorbate Reductase from Spinach and Its Characterization as a Thiol Enzyme / M. Hossain, A. Kozi // *Plant & Cell Physiol*. – 1984. – V. 25. – P. 85–92.

Kampfengel K. Extraction and determination of ascorbate and dehydroascorbate from plant tissue/ K. Kampfengel, M. Van Montagu, D. Inzé // *Anal. Biochem*. – 1995. – V. 225. – P. 165–167.

Nakano Y. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts / Y. Nakano, K. Asada // *Plant Cell Physiol*. – 1981. – V. 22. – P. 867–880.

Queval G. A plate reader method for the measurement of NAD, NADP, glutathione, and ascorbate in tissue extracts: Application to redox proWling during *Arabidopsis* rosette development / G. Queval, G. Noctor // *Analytical Biochemistry*. – 2007. – V. 363. – P. 58–69.

ДЫХАНИЕ ЛИШАЙНИКА *PELTIGERA APHTHOSA* И ИЗОЛИРОВАННОГО ИЗ ТАЛЛОМА ФОТОБИОНТА

М.А. Шелякин

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: shelyakin@ib.komisc.ru

Лишайники – устойчивая симбиотическая ассоциация микобионта (гриб) и фотобионта (зеленая водоросль и/или цианобактерии). Способность лишайников выживать в неблагоприятных условиях и быстро восстанавливать метаболическую активность привлекает большой интерес исследователей, но механизмы их толерантности до конца не ясны. Крайне слабо исследовано дыхание талломов и отдельных компонентов ассоциации, что затрудняет понимание функционирования лишайников в норме и при стрессе. Особенно это касается вовлечения основного энергетически эффективного цитохромного (ЦП) и энергодиссипирующего (цианидустойчивого) альтернативного (АП) дыхательного пути. Известно, что АП присутствует в митохондриях грибов и зеленых водорослях.

Ранее в лаборатории экологической физиологии растений Института биологии Коми НЦ УрО РАН впервые было показано, что

неблагоприятные факторы различной природы вызывали активацию АП дыхания в талломах лишайников (Головка и др., 2016; Шелякин и др., 2016, 2018). Тот факт, что на долю клеток фотобионта у разных видов лишайников приходится не более 10% биомассы, дает основание связывать изменения интенсивности дыхания и соотношения дыхательных путей в талломах преимущественно с реакцией грибного компонента.

Для экспериментального обоснования этой гипотезы мы провели сравнительное изучение дыхания и активности дыхательных путей в лишайнике и изолированной из таллома зеленой водоросли.

В качестве объекта была выбрана *Peltigera aphthosa* – крупнолиственный трехкомпонентный лишайник, являющийся одним из модельных объектов лаборатории экологической физиологии растений при исследованиях биологии пойкилогидрических фототрофных организмов. Лишайник обитает на почве, во мхах, на валяжнике во влажных и затененных местах. На поперечном срезе таллома лишайника четко выделяется альгальный слой, сложенный клетками зеленой водоросли рода *Pseudococcomyxa*.

Перед проведением исследований отобранные талломы адаптировали в контролируемых условиях (температура воздуха 20–22 °С, освещенность составляла около 150 нмоль ФАР/м²с, фото-период день/ночь – 10/14 ч соответственно) при постоянном увлажнении путем периодического капельного орошения водой в течение пяти суток до восстановления их полной функциональной активности. Выделение фотобионта из лишайника *P. aphthosa* осуществляли по методике Е.Р. Котловой (2000). Чистоту полученной суспензии клеток фотобионта оценивали с применением микроскопа Nikon Eclipse80i. Функциональную активность водоросли в талломе лишайника и после изоляции оценивали по показателям индуцированной флуоресценции хлорофилла *a* фотосистемы 2 (ФС 2) на флуориметре РАМ-2100. Дыхательную активность талломов и изолированного фотобионта измеряли по поглощению O₂ полярографически на системе Oxytherm при 20 °С и выражали в нмоль O₂/(г сухой массы в минуту). Вовлечение отдельных дыхательных путей характеризовали с применением специфических ингибиторов, концентрацию которых подбирали в предварительных опытах. Активность основного ЦП дыхания подавляли раствором KCN, интенсивность цианидустойчивого АП измеряли в присутствии салицилгидроксамовой кислоты (SHAM). Количество фотобионта в талломе лишайника оценивали по содержанию хлорофилла в талломе лишайника и клетках изолированной водоросли. Определения проводили спектрофотометрически при заданных длинах волн (Дымова, Кузиванова, 2018).

Из талломов лишайника *P. apthosa* удалось выделить суспензию, содержащую клетки зеленой водоросли рода *Pseudococcomyxa*. Клетки были целые, без видимых под световым микроскопом дефектов. Важно отметить, что процедура выделения не оказала влияния на фотохимическую активность фотобионта. Показатели максимального и реального квантового выхода ФС 2 у изолированных клеток водоросли и талломов лишайника значимо не отличались.

Интенсивность поглощения O_2 в клетках водоросли составляла около 800 нмоль O_2 /(г мин.). В митохондриальном дыхании фотобионта превалировал ЦП. Активность ЦП была около 450 нмоль O_2 /(г мин.), что составляет 55% общего дыхания. Интенсивность дыхания по АП равнялась в среднем 250 нмоль O_2 /(г мин.). Вклад АП в общее дыхание водоросли не превышал 32%.

Скорость дыхания талломов *P. apthosa* была вдвое выше, чем изолированного фотобионта. В талломах активность цитохромного пути составляла 70% общего дыхания, что втрое больше по сравнению с клетками водоросли. На долю АП приходилось 20% дыхания таллома. Однако талломы и клетки водоросли практически не отличались по интенсивности АП дыхания.

В первом приближении вклад фотобионта в биомассу таллома лишайника можно оценить по накоплению хлорофилла. Содержание хлорофилла в клетках фотобионта составляло около 4 мг/г сухой массы, в лишайнике не превышало 0.7. Расчеты показывают, что на долю фотобионта приходилось примерно 17% биомассы таллома. Другими словами, вклад фотобионта в общее дыхание таллома лишайника не превышал 9%, при этом вклад водоросли в альтернативное дыхание таллома равнялся 16%. Это необходимо учитывать при изучении функционирования лишайнобиоты и прогнозировании ее реакции на изменение условий среды.

Автор выражает благодарность к.б.н. О.В. Дымовой, к.б.н. И.Г. Захожему, к.б.н. Р.В. Малышеву, к.б.н. И.В. Новаковской за содействие, д.б.н., проф. Т.К. Головки – за ценные советы при выполнении исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-34-00346 мол_а).

ЛИТЕРАТУРА

Головки Т.К. Физиолого-биохимические реакции лишайников в зоне воздействия бокситового рудника / Т.К. Головки, М.А. Шелякин, И.В. Далькэ и др. // Факторы устойчивости растений и микроорганизмов в экстремальных природных условиях и техногенной среде: Материалы

Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых (12–15 сентября 2016 г., г. Иркутск). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. – С. 202–203.

Шелякин М.А. Дыхание пойкилогидрических фотоавтотрофов в зоне влияния шахты «Воркутинская» / М.А. Шелякин, М.И. Василевич, Е.В. Яковлева // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Киров, 5–8 декабря 2016 г.). – Киров: ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС», 2016. – Кн. 2. – С. 141–144.

Дымова О.В. Оптимизация способа экстракции фотосинтетических пигментов и их содержание в талломах лишайников / О.В. Дымова, О.А. Кузиванова // Химия растительного сырья. – 2018. – № 2. – С. 137–144.

Котлова Е.Р. О возможной роли каротиноидов в адаптации зеленых водорослей и цианобактерий к существованию в условиях лишайникового симбиоза / Е.Р. Котлова // Ботанический журнал. – 2000. – Т. 85. – № 9. – С. 103–114.

Шелякин М.А. Изменение дыхания и соотношения дыхательных путей при адаптации лишайников к действию УФ-В радиации / М.А. Шелякин, И.Г. Захожий, Т.К. Головки // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2018. – № 3 (5). – С. 100–104.

РЕЗОЛЮЦИЯ
XXVI ВСЕРОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(С ЭЛЕМЕНТАМИ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ)
«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ»,
ПОСВЯЩЁННОЙ 75-летию А.И. ТАСКАЕВА
Сыктывкар, 18–22 марта 2019 г.

XXVI Всероссийская молодежная научная конференция (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии», посвящённая 75-летию А.И. Таскаева, проходила в стенах Института биологии Коми НЦ УрО РАН с 18 по 22 марта 2019 г. Конференция собрала сотрудников научных организаций и высших учебных заведений, аспирантов, студентов, участвующих в научно-исследовательской работе в области биологии и экологии. Основной целью конференции являлось создание условий для общения молодых и состоявшихся учёных для обмена опытом, поиска новых идей, предоставления начинающим исследователям возможности обсудить результаты своих научных исследований в кругу квалифицированных специалистов. Организатором конференции выступил Совет молодых ученых Института биологии Коми НЦ УрО РАН при поддержке администрации Института.

В работе конференции принял участие 131 человек. Наибольшим числом были представлены молодые ученые Института биологии, 15 – студенты и аспиранты вузов Сыктывкара. Остальные участники прибыли из других городов России и они представляли Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН (г. Архангельск), Удмуртский государственный университет (г. Ижевск), Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН (г. Иркутск), Казанский (Приволжский) федеральный университет (г. Казань), Вятский государственный университет (г. Киров), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского НЦ РАН (г. Мурманск), Пермский государственный национальный исследовательский университет (г. Пермь), Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (г. Санкт-Петербург).

Среди участников девять докторов наук, 60 кандидатов наук разных специальностей, 17 аспирантов, 37 студентов и восемь специалистов.

На конференции озвучено 66 докладов, в том числе пять пленарных. Георгий Валерьевич Матышак обосновал средообразующую роль криогенеза на примере почв Севера. В докладе Татьяны Ивановны Марченко-Вагаповой отражены основные аспекты и области применения палинологических исследований. Также в качестве пленарных докладчиков выступили молодые учёные Института биологии Коми НЦ УрО РАН. В сообщении Ольги Евгеньевны Валуйских были освещены возможности молекулярно-генетических методов при изучении редких растений. О роли сосновых экосистем европейского севера России в регулировании бюджета углерода сообщение сделал Андрей Фёдорович Осипов. Екатерина Николаевна Прошкина сделала сообщение о перспективах исследования генетических механизмов старения и стрессоустойчивости на модельном объекте – *Drosophila melanogaster*.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира» прозвучало 12 докладов, которые были посвящены анализу результатов выявления разнообразия водорослей и сосудистых растений как классическими, так и молекулярно-генетическими методами, вопросам классификации растительности, проблемам интродукции и сохранения редких видов растений.

На секции «Изучение, охрана и рациональное использование животного мира» озвучены 12 докладов по вопросам биологии и экологии различных групп водных и наземных организмов. Представлены данные о комплексах почвенных и наземных беспозвоночных.

Проблемы структурно-функциональной организации и антропогенной трансформации экосистем были затронуты в выступлениях на одноименной секции (16 докладов). Молодые ученые представили результаты исследований морфологии, физико-химических свойств и температурного режима почв, влияния на них хозяйственной деятельности человека и природных факторов, оценки последствий загрязнения почвенного покрова и атмосферы поллютантами различной природы. Продемонстрированы особенности функционирования микробиоты почвы и закономерности эмиссии парниковых газов с ее поверхности.

На секциях «Физиология, биохимия и биотехнология растений и микроорганизмов» (14 докладов) и «Радиационная биология, генетика. Влияние факторов физико-химической природы на организм» (семь докладов) обсуждены результаты исследований в

области физиологии растительных и животных организмов, биохимии растений, биотехнологии, проблемы влияния различных веществ на продолжительность жизни и устойчивость как целых организмов, так и культур клеток, а также экотоксикологической оценки природных вод.

Оргкомитет конференции и оценочные комиссии секций отметили высокий научный уровень и практическую направленность многих работ, а также расширение спектра исследований с использованием специализированного оборудования и современных методик.

В рамках конференции проведены четыре мастер-класса, в том числе выездной, в лесной массив в окрестностях г. Сыктывкар. Также были проведены экскурсии на территорию АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» и в теплицы ОАО «Пригородный».

Программа конференции выполнена в полном объеме. Участники отметили актуальность обсуждаемых проблем и значимость полученных научных результатов, высокий уровень организации и проведения конференции.

Подводя итог обсуждению основных рассмотренных проблем, конференция рекомендует:

1. Совету молодых ученых разместить электронную версию материалов докладов на сайте Института биологии Коми НЦ УрО РАН и в базе данных РИНЦ (<http://elibrary.ru>).

2. Провести XXVII Всероссийскую молодежную научную конференцию «Актуальные проблемы биологии и экологии» весной 2020 г.

3. Продолжить практику проведения мастер-классов, способствующих повышению квалификации молодых ученых во время XXVII Всероссийской молодежной научной конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии».

Совет молодых ученых благодарит администрацию Института биологии Коми НЦ УрО РАН за помощь и финансовую поддержку при проведении конференции.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Пленарный доклад	
Прошкина Е.Н., Шапошников М.В., Коваль Л.А., Щеголева Е.В., Земская Н.В., Соловьев И.А., Данилов А.А., Чернышова Д.О., Лашманова Е.А., Белый А.А., Москалев А.А. Перспективы исследования генетических механизмов старения и стрессоустойчивости на модели плодовой мушки <i>Drosophila melanogaster</i>	5
Секция 1. Изучение, охрана и рациональное использование растительного мира	
Безденежных К.А., Кондакова Л.В. Альгологическая оценка почв в районе объекта хранения и уничтожения химического оружия «Марадыковский» после прекращения его функционирования	9
Коваленко К.А., Чикурова А.Д., Валуйских О.Е., Шадрин Д.М. Обзор геосистематики семейства Капустные (Brassicaceae) флоры Республики Коми на основе сведений из баз данных (BOLD, NCBI)	12
Копеина Е.И., Кожин М.Н. Приморские и антропогенные луга острова Сосновец (Белое море, Мурманская область)	17
Кузнецова Е.Н. Особенности микроклонального размножения редкого вида <i>Aster amellus</i> L.	20
Кутявин И.Н., Манов А.В. Динамика структуры древостоя сосняка брусничного средней тайги (верхняя Печора)	23
Макарова А.В., Шабалина Ю.Н., Стерлягова И.Н. Водоросли горных озер в бассейне верхнего течения реки Хальмерья (Северный Урал, национальный парк «Югыд ва»)	26

Осипов А.Ф. Лесовозобновительный процесс на вырубках среднетаежных сосняков черничных (Республика Коми)	29
Петров В.Д., Шадрин Д.М. Ревизия последовательностей генов <i>rbcL</i> и <i>matK</i> представителей семейства Бобовые (Fabaceae) флоры европейского северо-востока России в базах данных (BOLD, NCBI)	32
Постельный Д.А., Новаковская И.В, Сивков М.Д. Влияние различных питательных сред на рост штамма <i>Chloromonas reticulata</i> (Goroschankin) Gobi (SYKOA ch-054-11)	35
Пуногов А.Н. Цветение и плодоношение видов рода <i>Cotoneaster</i> Medik. в условиях культуры на Севере	40
Фадеев А.С., Валуйских О.Е. Систематика и распространение видов рода <i>Lagotis</i> в Республике Коми	43
Секция 2. Изучение, охрана и рациональное использование животного мира	
Зайдыков И.Ю., Майор Т.Ю., Велегжанинов И.О., Фефилова Е.Б. Перспективы конфокальной лазерной микроскопии в исследовании веслоногих ракообразных (Copepoda)	47
Зиновьев В.В. Липовая моль-пестрянка <i>Phyllonorycter issikii</i> (Lepidoptera, Gracillariidae) в городе Кирове	49
Кабаков М.Б. Межвидовая и внутривидовая изменчивость темпов роста раковин жемчужниц северной Палеарктики	53
Мазеева А.В., Кулакова О.И. Видовое разнообразие булавоусых чешуекрылых (Lepidoptera, Rhopalocera) луговых местообитаний южной тайги Кировской области	57
Новиков А.А., Абрамова Е.Н., Сабиров Р.М. Рачки рода <i>Eucyclops</i> (Copepoda, Cyclopoida) из арктических биотопов дельты реки Лена	60
Полушкин А.А. Изменение бобровых поселений (<i>Castor fiber</i> L.) в Пермском крае под влиянием антропогенной нагрузки	61

Томилова А.А., Кондаков А.В., Болотов И.Н., Вихрев И.В., Любас А.А., Кабаков М.Б. Генетическая дивергенция утиной беззубки <i>Anodonta anatina</i> (Linnaeus, 1758) рек бассейна Азовского моря на основе COI	64
Травина О.В., Шевченко А.Р., Беспалая Ю.В., Аксенова О.В., Соколова С.Е. Распространение популяций <i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771) в бассейне реки Северная Двина и их паразитофауна	67
Чапурина Ю.Е., Кондаков А.В., Болотов И.Н. Диверсификация пресноводных паразитических клещей <i>Unionicola</i> в реках юго-восточной Азии	70
Секция 3. Структурно-функциональная организация и антропогенная трансформация экосистем	
Абдухалилов О.М., Скугорева С.Г. Содержание полициклических ароматических углеводов в почве вблизи ТЭЦ-5 города Кирова	73
Бондаренко Н.Н., Лаптева Е.М., Кызьюрова Е.В. Гуминовые вещества подзолистых почв средней тайги и их изменения в процессе естественного лесовосстановления	76
Режов К.С., Василевич Р.С., Лодыгин Е.Д. Методические аспекты гель-хроматографирования гуминовых кислот	80
Гурьянова А.Н., Матышак Г.В. Влияние растительных сообществ на динамику биологической активности и функционирование почв: результаты 50-летнего эксперимента	83
Королёв М.А., Кызьюрова Е.В. Изучение состава дисперсной фазы водорастворимой фракции почв методом динамического рассеяния света	85
Коряковцев В.А., Кызьюрова Е.В. Исследование состава нанофракции иллювиально-гумусово- железистого подзола	89
Кубик О.С. Формы углерода и азота маршевых почв (Хайпудырская губа)	91
Петржик Н.М., Бобрик А.А., Петров Д.Г. Адаптация тундровых экосистем к деградации мерзлоты и повышению температур почв	96

Сефилян А.Р., Гончарова О.Ю. Вклад корневого и микробного дыхания в продукцию CO ₂ почвами севера Западной Сибири	98
Старцев В.В. Роль органического вещества в деформационном поведении почв Приполярного Урала	102
Тимофеева М.В., Гончарова О.Ю. Соединения органического углерода в почвах и водах болотно-торфяного комплекса (на примере Западной Сибири)	105
Чуванов С.В., Тархов М.О. Влияние увлажнения/иссушения на биологическую активность почв бугристых торфяников севера Западной Сибири	108
Шахтарова О.В., Денева С.В., Русанова Г.В., Лаптева Е.М. Генетические особенности автоморфных почв южной тундры европейского северо-востока России	111
Яковлева Е.В., Габов Д.Н. Оценка дальности распространения полиаренов в тундровой зоне под воздействием ТЭС	114
Секция 4. Радиационная биология, генетика.	
Влияние факторов физико-химической природы на организм	
Боднарь И.С., Чебан Е.В. Реакции растений на радиоактивное и химическое загрязнение водоемов	118
Голубев Д.А. Антоцианы из плодов различных ягод и их геропротекторная оценка	121
Земская Н.В., Коваль Л.А., Щеголева Е.В., Соловьёв И.А., Москалев А.А. Природное соединение витаферин-а улучшает жизнеспособность <i>Drosophila melanogaster</i>	124
Коваль Л.А., Земская Н.В., Москалев А.А. Влияние витаферина-а на стрессоустойчивость <i>Drosophila melanogaster</i>	127
Соловьёв И.А., Щеголева Е.В., Шапошников М.В., Москалев А.А. Влияние оптического излучения на продолжительность жизни особей <i>Drosophila melanogaster</i> , эктопически экспрессирующих гены циркадных ритмов	130

- Уляшева Н.С.
Виды растений – источников геропротекторных веществ
во флоре озера Дон-ты и его окрестностей 132
- Яковлева Д.В., Земская Н.В., Шапошников М.В., Москалев А.А.
Геропротекторные и адаптогенные эффекты производных кинетина
у *Drosophila melanogaster* 135
- Секция 5. Физиология, биохимия и биотехнология растений
и микроорганизмов**
- Атоян М.С.
Влияние загрязнения бокситовой пылью
на анатомо-биохимические характеристики *Lobaria pulmonaria* L. ... 140
- Боровик О.А., Катышев А.И., Поморцев А.В., Корсукова А.В.,
Полякова Е.А., Фомина Е.А., Грабельных О.И., Дорофеев Н.В.,
Боровский Г.Б.
Дегидрины в узлах кущения озимой пшеницы
при холодовом закаливании и раззакаливании:
анализ экспрессии генов и содержания белка 143
- Герлинг Н.В., Тарасов С.И.
Оценка площади поверхности хвои
можжевельника обыкновенного 145
- Гогонин А.В., Анчугова Е.М.
Влияние консорциума микроводорослей на изменение содержания
общего азота, алюминия и железа в сточной воде аэротенков 148
- Жукова А.В., Скугорева С.Г.
Влияние добавок глутатиона и тиосульфата натрия
в питательный раствор на сорбцию и связывание ионов меди (II)
растениями ячменя 151
- Забоева А.Н., Новаковская И.В., Дымова О.В.
Влияние условий культивирования на содержание каротиноидов
в клетках микроводоросли *Chloromonas reticulata*
(Goroshankin) gobi 156
- Колдомова Е.А., Науменко Н.И.
Особенности проявления аллелопатической активности
водных вытяжек *Solidago canadensis* L. 159
- Кырнышева М.В., Ермолина К.В., Гармаш Е.В.
Влияние УФ-В радиации на синтез и активность альтернативной
оксидазы в растениях *Arabidopsis thaliana* с разным уровнем
экспрессии АОХ1а 161

Лютова А.А., Сибирцев В.С., Маслова А.Ю., Кубанычбек Р.У. Исследование биodeградируемости полимерных материалов на основе ПВХ с добавками бентонита и полигидроксibuтирата	164
Полякова Е.А., Боровик О.А., Грабельных О.И. Вовлеченность альтернативной цианид-резистентной оксидазы в устойчивость пшеницы к температурным стрессам	167
Русских А.Э., Солодянкина И.С., Жукова А.В., Скугорева С.Г. Содержание меди и фотосинтетических пигментов в растениях ячменя при выращивании на питательном растворе с добавкой сульфата меди (II)	170
Силина Е.В., Ермолина К.В., Кузиванова О.А. Активность супероксиддисмутазы и содержание пероксида водорода в листьях растений <i>Hylotelephium triphyllum</i> (Нав.) семейства <i>Crassulaceae</i>	172
Силина Е.В., Кузиванова О.А., Ермолина К.В., Гармаш Е.В. Функционирование аскорбат-глутатионового цикла при деэтиоляции листа пшеницы	176
Шелякин М.А. Дыхание лишайника <i>Peltigera aphthosa</i> и изолированного из таллома фотобионта	179
Резолюция XXVI Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы) «Актуальные проблемы биологии и экологии», посвящённой 75-летию А.И. Таскаева	183

Научное издание

XXVI Всероссийская молодежная научная конференция
(с элементами научной школы)

«АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ»,

посвященная 75-летию А.И. Таскаева

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

*Рекомендовано к изданию
Ученым советом Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН*

Оригинал-макет и корректура – Е.А. Волкова

Издание электронное. DOI: 10.31140/book-2019-05